



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

MODEL STRATEGICKÉHO ROZHODOVÁNÍ VE VÍCE HRÁČOVÉ HŘE S PRVKY KOOOPERATIVNÍHO CHOVÁNÍ

MODEL OF STRATEGIC DECISION-MAKING IN A MULTI-PLAYER GAME WITH ASPECTS OF
COOPERATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. RICHARD STRAKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN HRUBÝ, Ph.D.

BRNO 2013

Abstrakt

Práce se zabývá studiem matematických modelů lidského chování v sekvenčních strategických hrách, návrhem strategické situace vykazující prvky kooperace, implementací modelu a experimentováním s modelem. Pro práci byla zvolena hra DarkElf. Jedná se o tahovou strategickou ekonomicko-vojenskou hru, v níž se výsledné akce hráčů aplikují současně v předem známý okamžik.

Abstract

This work concentrates on the study of mathematical models of human behaviour in dynamic games; in particular games with aspects of cooperation, implementation of a model and experimentation with the model. The game DarkElf was chosen for this project. It is a strategic, turn based game with economic and military features, where the decisions made by players are simultaneously implemented at a predetermined time.

Klíčová slova

Teorie her, vyjednávací úloha, Nashovo vyjednávací řešení, Pareto efektivita, Shapleyho hodnota, nedokonalá informace, sekvenční hry, strategická hra, hra v normální formě, hra v rozšířené formě, Nashova rovnováha, DarkElf.

Keywords

Game theory, bargaining problem, Nash bargaining solution, Pareto efficiency, Shapley value, imperfect information, dynamic games, strategy game, normal form game, extensive form game, Nash equilibrium, DarkElf.

Citace

Richard Straka: Model strategického rozhodování ve více hráčové hře s prvky kooperativního chování, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2013

Model strategického rozhodování ve více hráčové hře s prvky kooperativního chování

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem semestrální projekt vypracoval samostatně pod vedením pana Martina Hrubého. Další informace mi poskytli tvůrci hry DarkElf a její hráči. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Richard Straka
22. května 2013

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce za vstřícnost při návrhu zadání práce, poskytnutí hodnotné pomoci a odborného vedení.

© Richard Straka, 2013.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1	Úvod	3
2	Rozbor práce a použité modely	4
2.1	Nekooperativní hry	4
2.1.1	Strategie optimální odpovědi Best response	5
2.1.2	Rovnováha ve hře(Nash equilibrium)	5
2.1.3	Formy hry	6
2.1.4	Míra znalosti informací ve hře	7
2.2	Kooperativní hry	8
2.2.1	Vyjednávací úloha	8
2.2.2	Kooperativní hry s přenositelným užtkem	8
2.2.3	Koalice	8
2.2.4	Jádro hry	10
2.2.5	Shapleyho hodnota ve hře(Shapley value)	10
2.3	Opakované hry	11
2.4	Model prostředí hry DarkElf	11
2.4.1	Časový průběh hry	11
2.4.2	Herní plán	13
2.4.3	Hráči	15
2.4.4	Pod-akce měnící stav hráče	15
2.4.5	Akce hráče	16
2.4.6	Herní prvky	17
3	Analýza strategického chování	19
3.1	Analýza hry	19
3.1.1	Účastníci hry (hráči)	19
3.1.2	Pod-akce hráčů	22
3.1.3	Interakce mezi hráči	23
3.1.4	Nekooperativní základ hry	24
3.1.5	Komunikace hráčů	25
3.1.6	Kooperace ve hře	26
3.1.7	Herní rasy	26
3.1.8	Složitost hry	28
3.2	Dotazník	29
3.2.1	Použitá metodika	29
3.2.2	Volba strategií	30
3.2.3	Vztah hráčů ke kooperaci	32
3.2.4	Preference hráčů	32

3.2.5	Dodatečné otázky	33
3.3	Statistická analýza historie hry	34
3.4	Interpretace výsledků	38
4	Návrh modelu hry	40
4.1	Duel	40
4.2	Lokální úroveň	41
4.2.1	Pasivní kooperace	41
4.2.2	Nekooperativní přístup	42
4.2.3	Aktivní kooperace	42
4.3	Globální úroveň	42
4.3.1	Aktivní kooperace	42
5	Implementace modelu hry	43
5.1	Kontext hry	43
5.1.1	GameMap	43
5.1.2	GameLigue	44
5.1.3	Land	45
5.1.4	Player	45
5.1.5	Aliance	45
5.2	Herní plán	45
5.3	Nástroj pro ladění a ověřování modelu hry DarkElf	46
5.4	Záznam a prohlížeč historie hry	46
6	Experimenty s modelem	48
6.1	Výsledek experimentu	48
6.2	Vyhodnocení experimentů	63
7	Závěr	64
A	Obsah CD	66
B	Slovník pojmů	67
C	Tabulka herních ras	68
D	Tabulka staveb	71

Kapitola 1

Úvod

Cílem této práce je analýza a následné pochopení strategického konfliktu více lidí, jejich cílů, možných rozhodnutí, zdůvodnění konkrétních voleb a nalezení efektivnější strategie. Jedná se o pokračování mé bakalářské práce zabývající se nekooperativním chováním hráčů ve hře s nedokonalou informací[7] a zaměřuje se na aspekty kooperativního chování. Pro potřeby formálního popisu prvků v modelu systému budou použity termíny a techniky teorie her. Text bude obsahovat i řadu pojmů z modelovaného systému, které mají význam tématicky pojmenovaných surovin, hmotných statků a různých typů akcí, které mohou jeho účastníci vykonávat.

Teorie her je matematická disciplína popisující chování více lidí, kteří chtějí dosáhnout maximálního užitku z důsledku svých činů. Jednotlivé subjekty jsou označeni jako hráči, jejich možné akce jako strategie a důsledek akcí všech hráčů je strategický profil. V každém profilu můžeme zkoumat zisk hráčů. Hry mohou být čistě kompetitivní, kdy míra výhry jednoho hráče znamená míru ztráty protihráčů, nebo hry s takzvaným nenulovým součtem, u kterého lze dosáhnout profilu relativně výhodném pro všechny hráče. Tento zisk je možné ještě zvýšit, zavedeme-li do hry kooperaci.

Jako zkoumaný systém byla zvolena internetová hra DarkElf z důvodu netriviální složitosti a velikosti stavového prostoru, která zabraňuje jeho úplnému vyčíslení v přijatelném čase. Jedná se o komplexní systém, ve kterém se nachází několik reálných hráčů, zpravidla desítky, a také hráči umělé. Hra obsahuje herní plán připomínající mapu. Hráči mají nedokonalou informaci o stavu hry ve smyslu neznalosti úplného stavu jiných hráčů a míry kooperace mezi nimi. Znalost hráčů je omezena pouze na rozložení hráčů na herním plánu a přehledové statistiky. Hra má ekonomicky vojenský charakter s možností spolupráce mezi jejími hráči, která je významným prvkem hry. Čerpat informace budeme z pořízených záznamů průběhu hry, osobních zkušeností autora se hrou a také dotazníku vyplněného významným vzorkem hráčů.

Výstupem práce bude technická zpráva popisující prvky hry DarkElf a jejich analýzu, použité nástroje, návrh modelu hry, experimenty s modelem a aplikace schopná analyzovat průběh zaznamenané hry, odvodit informace o stavu hry, které nejsou hráčům přímo dostupné a navrhnout efektivnější volbu koalic. Hlavní důraz je kladen na využitelnost technické zprávy i výsledné aplikace na podporu rozhodování účastníků hry.

Kapitola 2

Rozbor práce a použité modely

Pro návrh matematického modelu rozhodování hráčů ve strategickém prostředí hry DarkElf byly použity přístupy teorie her, a proto je nezbytné zavedení určitých termínů a jejich vysvětlení. V práci je zkoumána otázka racionality hráče jak z nekooperativního pohledu, tak i z pohledu spolupráce a vyjednávání. Zavedeme si pojem vnitřní model hry, zachycující vztahy mezi objekty v modelovaném systému. Tento model musí být schopen vyjádřit každý stav originálního systému a také obsahovat přechodové funkce mezi stavy při provedení dostupných akcí. Nad tímto modelem poté definujeme vnější model, který bude zkoumat chování hráčů v modelovaném systému.

2.1 Nekooperativní hry

Pro studium kooperativního chování potřebujeme znát očekávaný užitek hráčů, kterého dosáhnou, nedojde-li k dohodě mezi hráči o společné volbě strategií. Nekooperativní řešení hry nemusí být optimální pro hráče, ale jedná se o stabilní bod, ve kterém nemají hráči potřebu jednostranně změnit svou strategii. Způsob vyjednávání i následné rozdělení zisku bude více probráno v kapitole 2.2 kooperativní hry.

V tabulce 2.1 je zobrazena matice popisující jeden ze nejzákladnějších příkladů teorie her.

A\B	mlčet	vypovídat
mlčet	-1,-1	-10,0
vypovídat	0,-10	-5,-5

Tabulka 2.1: Věžňovo dilema

Dva zločinci jsou chyceni při činu a je jim nabídnuto, že pokud budou vypovídat proti svému komplicovi, tak budou osvobozeni a druhý dostane trest 10 let ve vězení. Pokud budou vypovídat oba, půjdou do vězení na 5 let a v případě, že by oba mlčeli, skončí ve vězení za nedovolené držení zbraně na jeden rok.

Mějme množinu hráčů $Q = \{1, \dots, N\}$ a množinu strategií S , n -tice $s = (s_1, \dots, s_N)$, $s \in S$ je strategický profil skládající se ze strategie každého hráče a vyjadřuje stav vzniklý jejich provedením. Profil s_{-i} je profil strategií mimo strategii s_i hráče $i \in N$. Funkce $u_i(s)$ vrací užitek hráče i v profilu s .

2.1.1 Strategie optimální odpovědi Best response

$s^* = (s_{-i}^*, s_i^*) \in S$ je profil strategií. Strategií s_i^* nazýváme optimální odpověď na s_{-i}^* , pokud

$$u_i(s_{-i}^*, s_i^*) = \max_{s_i \in S_i} u_i(s_{-i}^*, s_i) \quad (2.1)$$

Množinu všech optimálních odpovědí na s_{-i}^* značíme $BR(s_{-i}^*)$, tj.

$$BR(s_{-i}^*) = \{s_i' \in S_i : u_i(s_{-i}^*, s_i')\} = \max_{s_i \in S_i} u_i(s_{-i}^*, s_i) \quad (2.2)$$

Pojmu optimální odpovědi použijeme k definici Nashovy rovnováhy. V rovnováze, jak již název naznačuje, žádný z hráčů nemá důvod (motivaci) svoji strategii jednostranně měnit. To nastává v případě, že každý z hráčů volí optimální odpověď na strategie ostatních hráčů[1].

2.1.2 Rovnováha ve hře(Nash equilibrium)

Hra více hráčů je dynamický systém, na každou akci hráče se snaží ostatní hráči odpovědět nejlepší reakcí, na kterou následně hráč opět reaguje. Rovnováha je bod, kdy strategie všech hráčů je vzájemně nejlepší odpověď na strategie protihráčů a pokud se rozhodne jakýkoliv hráč jednostranně změnit svou strategii, tak dosáhne horšího užitku. Jonathan Nash dokázal, že v každé hře existuje alespoň jeden takový bod. Známe rovnováhu v ryzích strategiích, to znamená, že pro každého hráče je přesně známé, kterou strategii má zvolit a rovnováhu ve smíšených strategiích, kde je nad strategiemi hráče definované pravděpodobnostní rozšíření. Příkladem takové hry může být hra "kámen, nůžky, papír", kdy nejlepšího užitku dosáhne hráč, volí-li strategie náhodně s rovnoměrným rozložením. Protože, začne-li hráč hrát libovolnou strategii ryze, BR protihráčů bude také ryzí strategie, která nad jeho volbou zvítězí.

V příkladu věžňova dilema popsaného v tabulce 2.1 existuje právě jedno řešení v ryzích strategiích a tím je, že oba hráči budou vypovídat.

Nashova rovnováha v ryzích strategiích

V ryzích strategiích se hráči rozhodují deterministicky podle výše zisku.

Profil strategií $s^* \in S$ nazýváme Nashova rovnováha v ryzích strategiích (Nash Equilibrium in pure strategies), pokud

$$s_i \in BR(s_{-i}^*), \forall i \in Q \quad (2.3)$$

Nashova rovnováha NR je stav, kdy jakákoliv jednostranná změna strategie vede ke zhoršení zisku[1].

Nashova rovnováha ve smíšených strategiích

Existují hry, které nemají Nashovu rovnováhu v ryzích strategiích.

Ve smíšených strategiích je toto rozhodování rozšířeno o vliv pravděpodobnosti (pravděpodobnostní rozšíření). Pravděpodobnostní rozšíření hry v normální formě $(Q, \{S_i\}_{i \in Q}, \{u_i\}_{i \in Q})$

je hra $(Q, \{\Delta S_i\}_{i \in Q}, \{U_i\}_{i \in Q})$, kde ΔS_i je množina pravděpodobnostních rozdělení nad množinou S_i a $U_i : \Delta S_i \times \dots \times \Delta S_N \rightarrow \mathbb{R}$ přiřazuje každému prvku množiny $\delta \in \Delta S_i \times \dots \times \Delta S_N$ očekávanou střední hodnotu hry

$$U_i(s) = \sum_{s \in S} \left(\prod_{j \in Q} \delta_j(s_j) \right) u_i(s) \quad (2.4)$$

pro konečné množiny S [1].

Korelovaná rovnováha

Korelované ekvilibrium (**CE**) je herní koncept, který zobecňuje Nashovo ekvilibrium a je založeno na myšlence, že hráč volí svou strategii na základě pozorování nějakého veřejně známého signálu. Signál hráči "napoví" tah. Pokud hráči uvěří, že všichni protihráči hrají dle **CE** a vidí, že by si pohoršili hraním jiného tahu (než je ten napovězený), pak je profil tvořený těmito nápovědami korelované ekvilibrium [5].

2.1.3 Formy hry

Hry dále dělíme podle způsobu, jakým dochází k volbě strategií a jejich vyhodnocení. Známe hry v normální formě a hry v rozšířené formě. Hlavním rozdílem je míra informace o tazích protihráčů. Máme-li hru v rozšířené formě, ale neznáme tah, který protihráč zvolil, stane se hra ekvivalentní s hrou v normální formě, kde se rozhodují hráči bez znalosti tahu protihráčů.

Hry v normální formě

Jsou takové hry, kdy k provedení akcí obou hráčů dojde v jednom okamžiku, hráči neznají strategii, kterou zvolil protihráč až do okamžiku, kdy jsou informováni o výsledku hry.

Strategická hra N hráčů v normální formě je $(2N+1)$ -tice

$$(Q; S_1, S_2, \dots, S_N; U_1, U_2, \dots, U_N) \quad (2.5)$$

- $Q = \{1, 2, \dots, N\}$ je konečná množina hráčů ve hře.
- $S_i, i \in Q$ jsou (konečné) množiny ryzích strategií hráčů $i \in Q$.
- $U_i = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_N \rightarrow \mathbb{U}$ jsou funkce užiteků hráčů.
- \mathbb{U} je univerzum všech možných užiteků. Často klademe $\mathbb{U} = \mathbb{R}$.
- $S = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_N$ je množina strategických profilů ve hře. $s \in S$ je strategický profil [4].

Hry v rozšířené formě

Hry v rozšířené formě se od her v normální formě liší v tom, že se hráči střídají v tazích a hra probíhá ve více jak v jednom tahu. Tyto hry dále rozlišujeme podle množství informací, které hráči znají.

2.1.4 Míra znalosti informací ve hře

Hry se liší počtem hráčů, pravidly, formou a časovým průběhem hry a také mírou, jaké informace jsou hráčům známy. Rozlišujeme mezi hrami s dokonalou, nedokonalou, úplnou a neúplnou informací. Níže si uvedeme rozdíl mezi dokonalou a nedokonalou informací, kterou detailněji rozebereme, jelikož zkoumaná hra DarkElf má právě rys hry s nedokonalou informací.

Hry s dokonalou informací

Hrou v rozšířené formě s dokonalou informací (extensive game with perfect information) je taková hra, kdy každý hráč zná předchozí tahy všech hráčů. Takovou hrou jsou například šachy.

Hry s nedokonalou informací

Hry s nedokonalou informací, též nazývané Bayesovské hry, jsou hry, jež nevyžadují úplnou znalost pravidel a stavu hry. Lze je zapsat následující 7-micí

$$(Q, H, Z, f_{\mathcal{F}}, P, \mathbb{I}_{i \in Q}, \{u_i : Z \rightarrow \mathbb{R}\}_{i \in Q}), \quad (2.6)$$

kde:

- $Q = \{1, 2, \dots, N\}$ je konečná množina hráčů, \mathcal{F} je hráč "náhoda",
- H je množina posloupností splňujících tyto podmínky:
 - prázdná posloupnost je jejím prvkem: $\emptyset \in H$,
 - pokud daná posloupnost náleží do $H : (s^k)_{k=1, \dots, K} \in H, K \in \mathbb{N} \cup \{\infty\}$, pak i každá kratší posloupnost leží v H , tj. pro všechna $L < K, (s^k)_{k=1, \dots, L} \in H$,
- prvky množiny H nazýváme historie, prvky historií nazýváme akce,
- $Z \subset H$ je množina těch terminálních historií $(s^k)_{k=1, \dots, K} \in H$, tedy těch posloupností z H , které jsou buď nekonečné, anebo neexistují $(s^k)_{k=1, \dots, K+1} \in H$,
- funkce $f_{\mathcal{F}}$ přiřazuje každé historii h takové, že $P(h) = \mathcal{F}$ pravděpodobnostní rozdělení $f_{\mathcal{F}}(\cdot|h)$ na množině $A(h)$,
- funkce $P : H \setminus Z \rightarrow Q \cup \{\mathcal{F}\}$ přiřazuje každé neterminální historii hráče, který po dané historii hraje (volí akci),
- pro každého hráče $i \in Q$ označuje $\mathbb{I}_i = \{I_j\}_{j=1, \dots}$ rozdělení množiny $\{h \in H : P(h) = i\}$ takové, že $A(h) = A(h')$ pokud h a h' náleží do téže množiny rozdělení, značíme $A(I_i)$ množinu $A(h)$ a $P(I_i)$ množinu $P(h)$ pro libovolnou historii $h \in I_i$, rozdělení \mathbb{I}_i nazýváme informační rozdělení, jeho prvky informačními množinami i -tého hráče,
- u_i je užitková funkce přiřazující každé terminální historii výhru daného hráče[1].

2.2 Kooperativní hry

Kooperace do hry přináší hráčům možnost dohodnout se na strategickém profilu, který je pro ně výhodnější, než profil při nekooperativním řešení. Vrátime-li se zpět ke hře věžňovo dilema popsané v tabulce 2.1, zjistíme, že hra obsahuje profil výhodnější než profil (vypovídat, vypovídat) a tím je profil (mlčet, mlčet). Tento profil, však není stabilní díky pokušení hráčů získat lepší užitek. Přidáme-li však do hry prvek, nějakou autoritu, která by dohlížela na dodržování dohody mezi hráči, stal by se profil (mlčet, mlčet) kooperativním řešením hry.

2.2.1 Vyjednávací úloha

Mějme množinu hráčů $Q = \{1, \dots, N\}$, vyjednávací úloha je definovaná jako dvojice (Ω, c) , kde

- Ω je tak zvaná vyjednávací množina, tedy množina všech dosažitelných n -tic užitek (u_1, \dots, u_N) ,
- $c = (c_1, \dots, c_N)$ je nekooperativní výsledek hry v případě nedosažení dohody (angl. disagreement value) [6].

Všechny vyjednávací situace tohoto typu lze označit symbolem Σ . Vyjednávací řešení označíme přiřazením $F : \Sigma \rightarrow \mathbb{R}^N$ a symbolem F_i budeme rozumět užitek hráče i . V tomto vyjádření nám zápis $F(\Omega, c)$ označuje výsledek zadané hry [3].

Výsledkem vyjednávací úlohy je vektor $X = \{x_1, \dots, x_N\}$ rozdělující zisky mezi množinu hráčů Q .

2.2.2 Kooperativní hry s přenositelným užitekem

Obecná teorie von Neumann-Morgensetna o kardinalitě užitku neumožňuje porovnání užitku mezi hráči. Proto, pokud chceme umožnit přenositelnost užitku mezi hráči, musí být užitek reprezentován médiem, které má stejnou hodnotu pro všechny hráče. Takovým médiem mohou být peníze, přestože může dojít k tomu, že dvě různě majetné osoby budou mít ze stejného zisku rozdílný užitek [6].

2.2.3 Koalice

Koalicí $S \subseteq Q$ se rozumí skupina hráčů spolupracujících při volbě strategií [2].

Koaliční struktura

Koaliční strukturou se nazývá množina všech koalic 2^Q , které se v dané situaci z uvažovaných hráčů vytvoří [2].

Proti-koalice

Proti-koalicí ke koalici $S \subseteq Q$ se rozumí množina hráčů [2]

$$S^P = Q \setminus S = \{i \in Q; i \notin S\} \quad (2.7)$$

Velká koalice a prázdná koalice

Množina všech hráčů Q se nazývá velká koalice, její proti-koalice, tj. prázdná množina, se nazývá prázdná koalice[2].

Charakteristická funkce

Hra ve tvaru charakteristické funkce je taková hra, kde Q je množina N hráčů a funkce v vrací pro každou koalici $S \subseteq Q$ číslo $v(S)$ a $v(\emptyset) = 0$. Tomuto číslu říkáme hodnota koalice S [6][3].

$$Q = \{1, 2, \dots, N\}, v : 2^Q \rightarrow \mathbb{R} \quad (2.8)$$

Imputace

Mějme hru v ve tvaru charakteristické funkce s množinou hráčů $Q = \{1, \dots, N\}$. N -tice a reálných čísel se nazývá imputace, jsou-li splněny následující podmínky[3]:

- **Individuální racionálnost:** pro každého hráče i je

$$a_i \geq v(\{i\}) \quad (2.9)$$

- **Kolektivní racionálnost:** Platí

$$\sum_{i=1}^N a_i = v(Q) \quad (2.10)$$

Jedná se o vektor rozdělení zisku plynoucího z vytvoření koalice pro její členy. Musí být akceptovatelný všemi členy koalice. Členové musí mít zisk alespoň tak vysoký jako mimo koalici a musí dojít k úplnému rozdělení zisku mezi členy, tj. je efektivní.

Dominance

Imputace $x = (x_1, \dots, x_N)$ dominuje nad imputací $y = (y_1, \dots, y_N)$, pokud existuje koalice S , kde platí:

- $x_i > y_i$ pro všechny $i \in S$,
- $\sum_{i \in S} x_i \leq v(S)$ [6].

První podmínka zaručuje, že všichni hráči v koalici S budou mít větší zisk při rozdělení podle imputace x , než podle imputace y a druhá podmínka zaručuje, že imputace nerozdělí víc, než je hodnota koalice S .

Stabilní množiny

V případě, že každá imputace je dominovaná jinou imputací, tedy jakákoliv navržená imputace bude nestabilní, je třeba použít jiný přístup. Takovým může být stabilní množina imputací (někdy nazývaná jako von Neumann-Morgensternovo řešení). Stabilní množina pro hru G a množinu imputací J musí splňovat tyto podmínky:

- J je **interně stabilní**: žádná imputace $v \in J$ není dominována kteroukoliv jinou imputací $w \in J$.

- J je **externě stabilní**: každá imputace mimo J je dominovaná nějakou imputací v J .

Idea je taková, že pokud začneme v nějaké imputaci mimo J , externí stabilita nás povede do J . Jakmile jsme jednou v J , interní stabilita nám zabráni v opuštění J . Proto můžeme předpovědět, že výsledek hry bude nějaká imputace z , přestože nejsme schopni určit, která z nich to bude.

William Lucas sestrojil v roce 1968 deseti-hráčovou hru, kde nebyla žádná stabilní množina a tím ukončil úvahy o použití teorie jako obecné řešení[6].

2.2.4 Jádru hry

Základní formou řešení hry je jádro $C(v)$ hry $v \in G^Q$, je tvořeno všemi imputacemi, které nejsou dominovány žádnou jinou imputací pro jakoukoliv koalici.

$$C(v) = \left\{ a \in X(v) \mid \sum_{i \in Q} a_i \geq v(S); \forall S \in 2^Q \setminus \emptyset \right\} \quad (2.11)$$

Jádru hry je tedy tvořeno množinou imputací, kde žádná koalice nemá důvod se rozložit a utvořit jinou koalici než velkou koalici. Jádru hry tvoří množinu akceptovatelných stabilních řešení ve hře, můžeme tedy říct ekvilibrií[3].

2.2.5 Shapleyho hodnota ve hře(Shapley value)

Shapleyho hodnota je důležitá pro svoji unikátnost, pokud hra má neprázdné jádro, je to potenciálně nekonečná množina imputací a Shapley svou statistikou \mathbb{H} ukázal něco na způsob maxima na této množině[4].

Zkoumáme vliv neúčasti hráče $i \in Q$ v koalici $\delta(i, S) = v(S) - v(S \setminus \{i\})$, tedy jeho nepopíratelný přínos pro koalici. Pokud by koalice S měla být utvořena, je jisté, že hráč i by měl nárok požadovat $\delta(i, S)$. Má to pro něj pochopitelně význam pouze tehdy, pokud $\delta(i, S) \geq v(\{i\})$. Přínos hráče do všech k -členných koalic je dán:

$$h_i(k) = \sum_{S \subseteq Q, k=|S|, i \in S} \frac{(k-1)!(N-k)!}{(N-1)!} (v(S) - v(S \setminus \{i\})) \quad (2.12)$$

Když budeme iterovat přes všechny velikosti možné koalice, pak pro všechny možné koalice dále obdržíme celkovou statistiku přínosu hráče i do hry:

$$H_i = \sum_{k=1}^N \frac{h_i(k)}{N} = \sum_{S \subseteq Q, i \in S} \frac{(|S|-1)!(N-|S|)!}{N!} (v(S) - v(S \setminus \{i\})) \quad (2.13)$$

Mějme $v \in G^Q$. Shapleyho vektor této hry je definován jako vektor

$$\mathbb{H} = (H_1, H_2, \dots, H_N) \quad (2.14)$$

jehož každá i -tá složka je H_i dána vztahem 2.13. Složka H_i se nazývá **Shapleyho hodnota** pro hráče i [3].

2.3 Opakované hry

Bázová(základní) hra má strategie dle $G = (Q; S_1, S_2, \dots, S_N; U_1, U_2, \dots, U_N)$. Opakovaná hra definuje strategie nad celou posloupností opakování bázové hry. Situaci opakované hry modelujeme jako rozhodnutí hráče, jak se bude v rámci opakování her konzistentně chovat. Příklady strategií v opakované hře:

- Vždy budu hrát ...
- Budu hrát strategii, kterou v předešlém kole hrál soupeř.
- Budu hrát kooperativní strategii, pokud mě soupeř zradí, budu ho trestat po dobu k kol hraním nekooperativní strategie, a pak budu opět hrát kooperativní strategii[5].

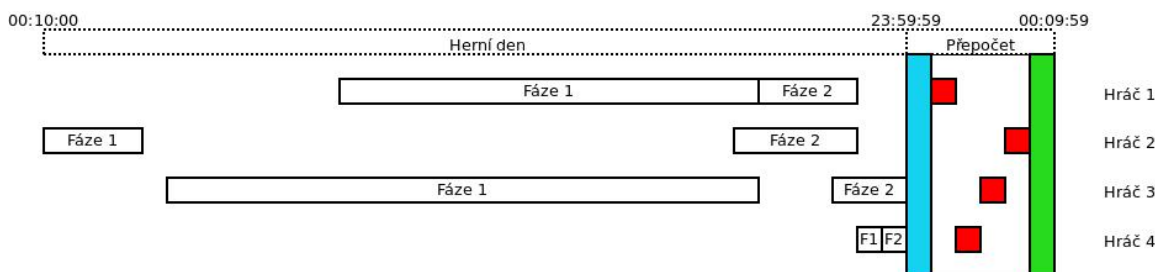
2.4 Model prostředí hry DarkElf

Tato kapitola popisuje model prostředí hry, ve které je zkoumané strategické chování hráčů s prvky kooperace. Definuje řadu pojmů z reálného prostředí a přiřazuje jim vlastnosti pro použití v modelu hry. Vliv prostředí hry DarkElf na strategické chování hráčů bude detailněji zpracován v kapitole 3. Slovník pojmů najdeme v příloze B a použité prvky prostředí hry DarkElf v přílohách C a D.

Jednotlivých her je spuštěno současně více a jsou označeny jako *ligy* a uspořádány do hierarchické struktury podle obtížnosti, kde nejvyšší je 1. V rámci jedné kategorie obtížnosti jsou ligy dále označeny písmeny, např.: 2A, 2B, atd. Hráči mohou hrát ve více různých ligách současně, popřípadě mezi nimi přecházet. Opustí-li hráč hru, již se do ní nemůže vrátit až do okamžiku, kdy je restartována, protože v průběhu se již nelze do hry přidat.

2.4.1 Časový průběh hry

Hra je složena ze série kroků, tyto kroky nazýváme herní *dny*, nebo zkráceně *den*. Během každého *dne* hráči volí své akce a ty jsou pro všechny hráče provedeny v jeden okamžik zvaný *přepočít*. Hráči hrají hru nezávisle na sobě ve smyslu, že nezáleží v jakém pořadí hráči vzájemně budou volit akce, popřípadě zda budou ve hře současně v jeden okamžik. První tři *dny* jsou hráči v *protekcí*, to znamená že nemohou žádným způsobem napadat jiné hráče.



Obrázek 2.1: Graf jednotlivých fází kroku hry(*dne*)

Základní rozdělení jednoho kroku hry:

- Herní *den* je časový interval, během kterého mohou hráči provádět akce pro aktuální krok hry. Nezáleží na pořadí, ani na okamžiku v jakém hráči provedou své akce, protože veškeré akce mající vliv na ostatní hráče se provádějí v jeden okamžik(*přepočít*).

Herní *den* dělíme následně na dvě fáze:

1. *Fáze ekonomická* je složená z jednotlivých pod-akcí hráče týkajících se pouze jeho vlastních zemí a pojmenování je založeno na faktu, že jsou převážně ekonomické podstaty. Do této kategorie patří použití herního kola, stavba domů či jiných staveb, naverbování či propuštění armády. Výsledkem této fáze je stav hráče, který je daný množstvím zlata a many, nepoužitých herních kol a stavu všech svých zemí.
2. *Fáze interakční* obsahuje akce hráče, které přímo či nepřímo ovlivňují ostatní hráče. Mezi tyto akce patří posílání útoku či kouzla na zemi cizího hráče, nebo zemi neutrální. Dále do této fáze řadíme i kouzla a útoky v rámci zemí hráče, přestože nedochází k ovlivnění jiných hráčů, ale typem akce do této kategorie patří.

- *Přepočít*, který dělíme na tři fáze:

1. *Vyhodnocení magie* probíhá jako první fáze přepočtu, kouzla jsou v rámci jedné země vyhodnoceny v předem daném pořadí. Na pořadí, v které jsou zpracovány jednotlivé země v této fázi nezáleží, protože stav okolních zemí neovlivňuje dopad kouzla na zemi.
2. *Vyhodnocení vojenských útoků* probíhá v náhodném pořadí po hráčích, tzn. nejdříve jsou vyhodnoceny všechny *útoky* na jednoho hráče, poté na dalšího a toto pořadí je náhodné. Útoky hráče jsou vyhodnoceny v pořadí, v jakém byly hráčem provedeny. Důsledkem toho je, že hráč neví, zda jeho útoky budou vyhodnoceny před, nebo po útocích ostatních hráčů, ale může ovlivnit pořadí svých útoků, takže například nejdříve pošle útok na krajní zemi s nejmenším počtem *vojenských smluv* a v případě, že hráč zemi dobude, oslabí tím *vojenské obrany* dalších zemí, které s touto zemí sousedí.
3. *Vyhodnocení herních událostí* jako růst síly neutrálních zemí a různé náhodné prvky.

Průměrně hra trvá 16 *dní*, jakmile některý hráč vyhraje, je stav hry resetován a hra začíná od začátku. Toto opakování se herně nazývá *věk*. Výhra nastává v okamžiku, kdy nějaký vládce získá ***Zemi DarkElfa*** a bude poslední, kdo během posledního přepočtu zemi udrží. Aby mohl hráč zaútočit na ***Zemi DarkElfa***, musí splnit ukončovací podmínky.

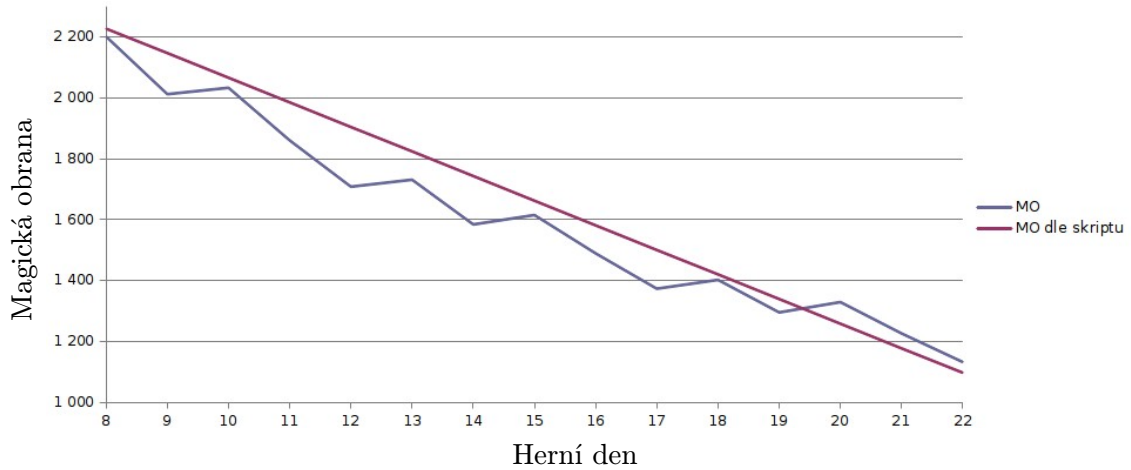
Ukončovací podmínky hry

Pro vítězné ukončení hry musí hráč, nebo skupina hráčů splňovat následující podmínky:

- Vlastnit 7 staveb *Velká magická Věž*(VMV).
- Vytvořit *kult*(koalice hráčů sestavená za účelem útoku na ***Zemi DarkElfa***) a získat dostatek členů *kultu*, kteří vlastní dohromady alespoň 35% zemí.
- Podporu 35% zemí je nutné udržet minimálně jeden *den* pro povolení útoku na ***Zemi DarkElfa*** a ještě následující den, ve kterém bude odeslán útok.

- Držet dostatečnou *sílu kouzel* na překonání *magické obrany Země DarkElfa* a pomocí nich snížit *vojenskou obranu* země tak, aby bylo možné odeslat útok, který je schopen zemi dobýt.

Pokud během útoku na **Zemi DarkElfa** dojde ke ztrátě některé z prvních třech podmínek, bude útok neúspěšný a hráči budou muset opět splnit tento bod podmínek.



Obrázek 2.2: Průběh magické obrany Země DarkElfa

Výše uvedený graf 2.2 zobrazuje vztah přibližného odhadu *magické obrany* aproximačním vzorcem $3000 - (den - 7) * 105$ a ověření pomocí *kouzla* zjišťující stav cizí země. Údaje měření pomocí *kouzla* začínají až dnem 8, protože *kouzlící* hráč musí dosáhnout alespoň poloviční *síly kouzel* než je *magická obrana* země, avšak pro neutralizaci obrany země je nutné dosáhnout plné síly.

2.4.2 Herní plán

Na obrázku 2.3 je zobrazena část *herního plánu* M , je to plocha, na které probíhá hra. Skládá se ze zemí z , které jsou rozmístěné na tomto herním plánu. Herní plocha obsahuje 451 zemí a připomíná mapu. M je graf tvořený uspořádanou dvojicí množiny vrcholů (zemí) Z a množiny hran E :

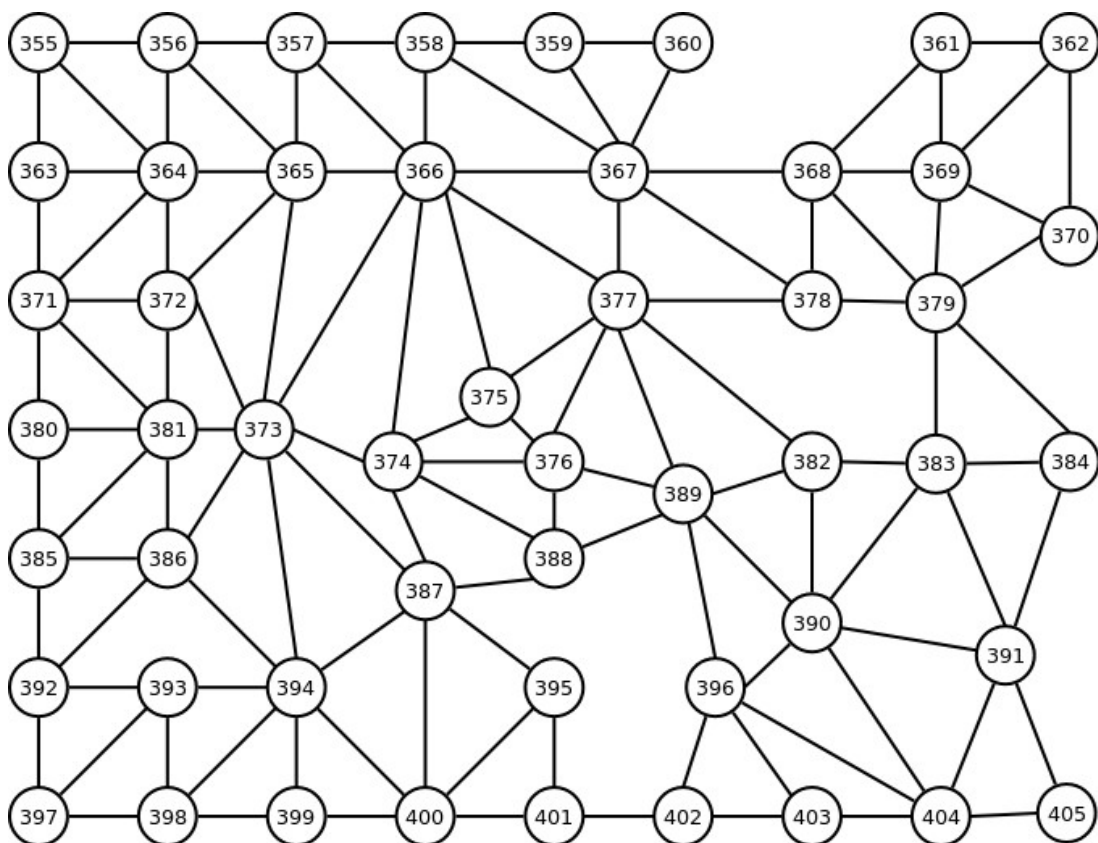
$$M = (Z, E), \quad (2.15)$$

kde:

Země $z \in Z$ je následující n-tice:

$$z = (B_z, T, S, D, l, a). \quad (2.16)$$

- Množina bonusů B země z obsahuje procentuální koeficienty $b_o \in B$ ovlivňující obranu, $b_z \in B$ zisky zlata a $b_m \in B$ many.
- $T \in \{\text{obchodní, magická, vojenská, valka, volný průchod}\}$ je seznam smluv s okolními zeměmi. Smlouvy mají následující efekt na zemi:
 - *Obchodní smlouva* přidává 18% zisku zlata z obyvatel ve vedlejší zemi.
 - *Magická smlouva* přidává 20% zisku many z magických jednotek ve vedlejší zemi.
 - *Vojenská smlouva* přidává 30% obrany jednotek ve vedlejší zemi.



Obrázek 2.3: Topologie části herního plánu(mapy)

- *Válka* umožňuje útočit na vedlejší zemi bez postihu 30%.
- *Volný průchod* umožňuje útočit na země, které sousedí s vedlejší zemí, jinak je možné útočit pouze na okolní země.
- S je množina staveb $s \in S$ ovlivňující zisky, vojenskou a magickou sílu země z .
- $D \in \mathbb{N}$ je počet domů, které jsou domovem pro lidi l produkující zisk, nebo vojenské jednotky a , kde $l \in \mathbb{N}^0, a \in \mathbb{N}^0, l + a \leq D$.

Tyto informace jsou dostupné pouze hráči, který zemi vlastní, pro ostatní hráče jsou dostupné následující informace:

- herní rasa vlastníka země,
- seznam smluv *válka* s okolními zeměmi,
- *pevnost* a *magická věž* postavená v zemi,
- pokud v zemi není postavená stavba *pevnost*, je dostupný přibližný počet domů v zemi spadající do nejnižší z množiny kategorií $\{< 50, < 100, < 150, < 200, < 250, \leq 250\}$.
- celková síla země(součet útoků a obran jednotek v zemi)
- pokud hráč vlastní stavbu *špehnora* má dostupnou informaci o počtu obyvatel v zemi z okamžiku přepočtu,

- pokud hráč seslal na zemi *kouzlo magické oko* má dostupnou informaci o počtu obyvatel v zemi, počtu domů, vojenských jednotek, *porodnost obyvatel* v zemi, sílu kouzel hráče a počet *herních kol*.

2.4.3 Hráči

Účastníci hry vlastní na začátku hry počáteční zemi na herním plánu a zvolí si herní *rasu*. Každá *rasa* má jiné vlastnosti, které ovlivňují možnosti hráče.

Herní rasa

Určuje typ vojenských jednotek, jejich sílu, cenu i průběžné náklady(*žold*), které musí hráč platit každé herní kolo. *Rasa* také určuje kolik hráč dostane každý *den* počet nových herních *kol* a počáteční suroviny, se kterými vstupuje do hry. Vlastnosti herních ras jsou v příloze C.

Prostředky hráče

Ve hře DarkElf se vyskytují dva druhy surovin, které jsou vzájemně směnitelné v kurzu závislém na poptávce na herním trhu. Těmito surovinami jsou *zlato* a *mana*. Zlato je produkováno lidmi ve formě daní, které odvádí hráči, dále v dolech, které hráč postavil v zemích. *Manu* produkuje třetí typ vojenských jednotek(*mágové*), hráč musí zaplatit za jejich povolání a také jim platí každé herní *kolo žold*. *Manu* také produkuje *magické věže*, jedná se principiálně o obdobu dolů. Hráči s těmito surovinami mohou libovolně nakládat(investovat do růstu ekonomiky, nebo platit vojenské náklady).

Zisk hráče

Je dán součtem zisků ze zemí po odečtení *žoldů* a je dále upraven podle *hodnosti* hráče. Koeficient, kterým *hodnost* upravuje zisky hráče se může pohybovat v rozsahu $< 0.25, 2 >$, hráč tyto suroviny dostává vždy při použití herního kola.

Herní kolo

Herní kolo je časová jednotka, která je přidělena hráči. Herní den je rozdělen na diskrétní časové segmenty, během kterých dochází ke změně stavu hráče.

2.4.4 Pod-akce měnící stav hráče

Stav hráč může nabývat obrovského množství různých hodnot, pro každou zemi je možné měnit počet domů pro obyvatele, stavby ovlivňující vlastnosti země a rekrutovat armádu. Stavem hráče je i množství surovin a herních kol, které aktuálně má a které se na konci svého tahu rozhodne ponechat do dalšího *dne*. Celý tento průběh změn stavu hráče je poté ostatním hráčům interpretován pouze jako atomický stav, u kterého není známa většina detailů ani průběh změn stavu. Tyto drobné změny stavu hráče budou označovány jako pod-akce. Možné pod-akce hráče jsou:

- Hlavní pod-akcí hráče je použití herního *kola*, hráči se přičtou suroviny odpovídající ziskům ze zemí a v jednotlivých zemích roste počet obyvatel.

- Postavení domu: hráč ve vybrané zemi postaví dům, do kterého se může nastěhovat příchozí obyvatel, který poté platí daně hráči ze své práce.
- Postavení, nebo prodání stavby: hráč může v zemi vybudovat maximálně jednu stavbu od každého typu. Stavba je postavena okamžitě a hráči jsou strženy náklady v surovinách z jeho prostředků. V případě, že se rozhodne stavbu prodat/zbořit získá recyklací část surovin zpět. U všech herních *ras* kromě *skurutů* je to $\frac{1}{4}$, ti jsou schopni získat zpět $\frac{1}{2}$ ceny stavby.
- Rekrutování armády: hráč po zaplacení nákladů na vycvičení převede část obyvatel země na vojenské jednotky.
- Při propuštění armády jednotky nenávratně odcházejí ze země, hráč za tuto změnu nic neplatí. U herní rasy *lidé*, pokud je v zemi postavená stavba *chudobinec*, je polovina vojáků převedena zdarma zpět na obyvatele země, kteří mohou hráči opět přinášet zisky.
- Změna smluv mezi zeměmi. Smlouvy určují vztah mezi zeměmi a jsou definované ve výrazu 2.16.

2.4.5 Akce hráče

Akce hráče vyjadřují způsob, jakým hráč může působit na okolí. Nemění pouze stav samotného hráče, ale také stavy ostatních hráčů hry, nebo neutrálních zemí. Takovými akcemi jsou útoky a *magie(kouzla)*.

Útoky

Jedná se o vojenskou akci, provádí se z konkrétní země hráče a cíl této akce musí být v bezprostředním okolí země na herním plánu. V případě použití smlouvy *volný průchod* je rozšířen dosah útoku i na bezprostřední okolí země, se kterou je smlouva *volný průchod* uzavřena. K tomu aby byl útok úspěšný, musí mít větší sílu, jako je vojenská obrana cílové země. *Vojenská obrana* je schopnost země odolávat vojenským útokům, skládá se z obrany vojenských jednotek v zemi, obyvatel a speciálních staveb, které mají vliv na obranu země proti vojenským útokům.

Síla útoku je vypočítána v okamžiku odeslání útoku, skládá se z útočné síly armády a bonusu staveb ovlivňující sílu útoku. Jakmile je útok odeslán, jeho parametry jsou neměnné i v případě, že dojde k prodání staveb, které zvyšovaly jeho sílu.

Typy útoků určují jakým způsobem útok ovlivní stav cílové země, ve hře existují tyto typy:

- *Dobyvačný útok* v případě úspěchu připojí zemi k zemím hráče, který ho odeslal. Je možné poslat pouze na zemi cizího hráče.
- *Plenivý útok* zboří veškeré stavby v zemi a 30% domů a v cílové zemi proti němu nebrání obyvatelé. Je možné poslat pouze na zemi cizího hráče.
- *Přesun vojsk* nemusí překonat obranu země a pouze přesune vojenské jednotky z jedné země do druhé. Je možné poslat pouze na vlastní, nebo neutrální zemi.

Magie

Jedná se o typ útoku, který není omezen vzdáleností země od hráče, liší se okamžikem vyhodnocení i efektem na cílovou zemi. Síla kouzel: Určuje sílu útoku a je každému *kouzlu* přiřazena v okamžiku seslání z rozsahu $< \frac{1}{3}SK, SK >$, kde $SK = 2 * \frac{m}{l} * bonus$ a m je počet *magických jednotek*, které hráč vlastní, l je počet zemí hráče a *bonus* k síle kouzel.

Magická obrana: Schopnost země bránit se *magickému útoku*.

Kategorie kouzel: Rozlišujeme kouzla do skupin podle efektu, který mají na zemi.

- kladný, nebo záporný efekt na ekonomiku země,
- loupežné útoky,
- destruktivní útoky ovlivňující počet domů, staveb, lidí a stav armády v zemi,
- ochranné, které zvedají obranu země proti vojenským útokům, nebo magickým útokům.

2.4.6 Herní prvky

Počasí

Počasí je atribut herního dne, který má vliv na následující prvky hry:

- zisk *zlata* z práce obyvatel a tím i zvýšení odvodu daní hráči,
- zisk *many* z produkce *magických jednotek* pro hráče,
- cenu domů.

Počasí může nabývat procentuální hodnoty z množiny $\{50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150\}$.

Přepočet

Druhá fáze herního dne. viz kapitola 2.4.1 se nazývá přepočet. Během něho jsou vyhodnoceny útoky a magie hráčů a náhodné události. Během přepočtu jsou hráčům přidány herní kola v množství, které připadá herní rase na jeden den, maximálně do tří násobku denního limitu.

Vliv náhody

Ve hře se vyskytuje několik zdrojů náhodného chování:

- Změna počasí.
- Během přepočtu roste síla neutrálních zemí: 0-1 obyvatel, 0-1 dům, 1-2 vojenské jednotky 1. typu, 0-2 vojenské jednotky 3. typu.
- Náhodnou zemi může postihnout událost, která:
 - Postaví několik domů včetně příchodu obyvatel.

- Zboří několik domů.
- Usmrtí několik jednotek 3. typu pokud se v zemi vyskytují.
- Hráči, který zemi vlastní přidá malé množství zlata, nebo many.
- Pořadí, ve kterém jsou vyhodnocovány útoky hráčů.

Statistiky

Kromě informací o zemích hráčů uvedených na herním plánu mají hráči k dispozici řadu statistik:

- síla a počet zemí aliancí,
- celková síla hráčů,
- vojenská síla hráčů,
- vojenská síla jednotlivých zemí hráčů,
- počet zemí hráčů,
- pořadí hráčů v množství zlata a many na kontě(vedeno je pouze pořadí, nikoliv přesné množství),
- online hráči(aktuálně připojení ve hře),
- osobní profil hráče se slovním hodnocením od cizích hráčů a seznam výher.

Tyto informace slouží hráčům jako pomocník při rozhodování o volbě strategie a jejich kombinací lze odhadnout jiné privátní informace hráčů.

Aliance

Jedná se o viditelný typ koalice hráčů a představuje úzkou formu spolupráce a předpokládá se i následná podpora kultu. Členové aliance mají navíc k dispozici alianční pokladnici, do které odvádí 4-5% svých zisků a ty mohou účelně přerozdělit.

Kapitola 3

Analýza strategického chování

V této kapitole provedeme analýzu prostředí modelované hry. Zaměříme se na strategické možnosti hráčů, prostor pro kooperaci, vlivy působící na rozhodování hráčů a možné cíle hráčů ve hře. Využijeme více přístupů jako rozbor hry(kapitola 3.1), dotazník mezi hráči(kapitola 3.2) a statistickou analýzu nad pořízeným záznamem historie hry(kapitola 3.3). Zjištěné informace budou sloužit pro návrh modelu hry a budou shrnuty v kapitole 3.4.

3.1 Analýza hry

První část se zabývá rozбором hry DarkElf na základě zkušenosti autora s modelovanou hrou. Poznatky jsou čerpány z manuálu hry a experimentování se hrou.

3.1.1 Účastníci hry (hráči)

Hra obsahuje hráče $Q = \{1, \dots, N\}$. Ty dělíme na skutečné, tedy lidi různých věkových kategorií od přibližně 10 do 70 let a hráče umělé, kteří jsou pojmenováni *poslové* a dělí se do pěti kategorií podle obtížnosti. Poslové se ve hře vyskytují pouze zřídka a slouží pro zpestření a jako prvek náhody ve hře, také pro ně neplatí klasická pravidla hry, jinými slovy podvádějí. Protože význam poslů ve hře je nízký a model jejich chování je triviální, nejsou pro potřeby této práce zajímaví a jejich role bude zanedbána.

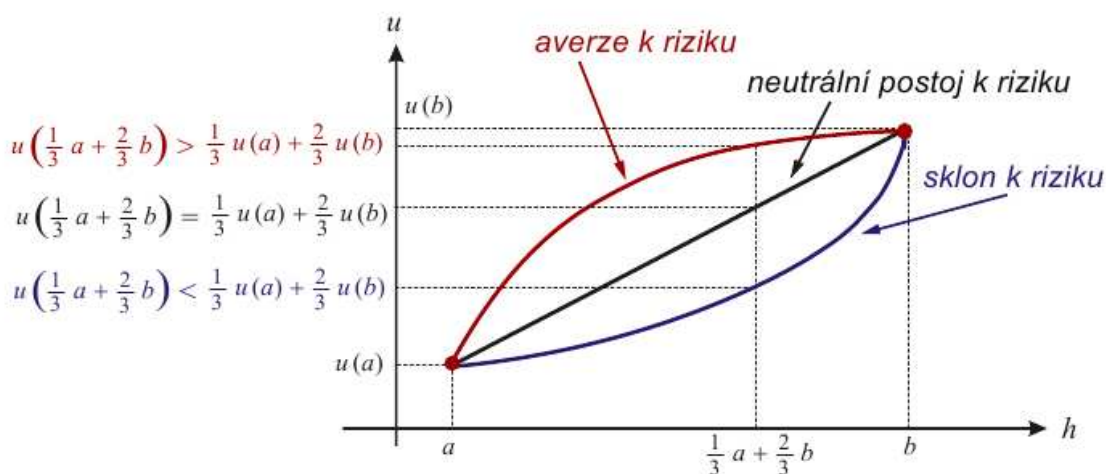
Poslové

Pro úplnost si uvedeme popis chování poslů DarkElfa jakožto umělých hráčů v prostředí hry. Historicky první poslové byli značně neinteligentní, jejich útoky byly náhodné a to jak co se týká cíle bez ohledu na obranu, tak i typu útoku. Takže často se stávalo, že posel buď zemi nedobyl, nebo zvolil špatný typ útoku a pouze ji vyplenil. Současně tento druh nenechává žádnou obranu, v případě že zaútočí, jde vždy plnou silou. Příjemnou vlastností těchto poslů je fakt, že staví náhodné stavby a to i velmi cenné. Na tyto posly se tedy vyplatí buď poslat dostatečný útok silnější jak jejich maximální možná obrana, nebo levnější varianta poslat každý den testovací útok a vyčkávat na okamžik, kdy posel zaútočí. Toto vždy pokud možno z obrany větší, než je posel schopen překonat vojenským útokem.

Tento typ posla je nyní označován jako kategorie 5, existují 4 další kategorie se vzrůstající obtížností až k poslovi kategorie 1. Tito poslové již neútočí náhodně, ale vždy útokem

větším jak je obrana země, jinak nezaútočí. Používají navíc vojenské smlouvy a variaci útočných i obranných staveb, avšak u hráčů nejsou schopni do obrany země započítat vojenské smlouvy a tím mohou hráče podcenit. Další vlastnost nových kategorií posílů je, že pokud zaútočí, tak je útok počítán z celé armády v zemi, i když do útoku odchází pouze část a také zemi brání celá armáda včetně jednotek v útoku. Přesné nastavení posílů není známé, ale obtížnost se bude odvíjet od růstu síly posla za jeden herní den, množství útoků co dokáže poslat a také procentu jednotek, které do útoků odešle. Tyto druhy posílů se dá efektivně porazit pouze dostatečným útokem z dostatečné obrany, ideálně přes volný průchod či za pomoci magie.

Vlastnosti hráčů



Obrázek 3.1: Vztah hráče k riziku [2]

- Paměť je schopnost hráče uchovat znalosti o stavu ostatních hráčů. Hráči nemají k dispozici předchozí stav hry, a proto tyto znalosti jsou omezené na poznámky a paměť hráče. Tato schopnost klesá se vzdáleností ostatních hráčů na mapě i hloubkou historie, vzdálenější hráči mají menší strategický význam pro hráče a tedy i menší nutnost detailní znalosti.
- Vztah k riziku ovlivňuje hráčovo vnímání užitku ze zisku viz obrázek 3.1.
- Znalost herního modelu(pravidla hry) určují schopnost hráče analyzovat svoji ekonomickou situaci popřípadě ostatních hráčů podle dostupných statistik, také lépe odhadnout možnosti pro útok i obranu.
- Styl hry(vlastní preference nad strategiemi) při zachování racionality hráče, jehož cílem je dosažení největšího zisku, jsou užitky hráče upraveny tak, že z některých strategií má subjektivně lepší užitek, než z jiných strategií. Např. ofenzivní hráč neuvažuje příliš nad možnostmi obrany a jeho hlavním cílem je dobývání zemí protihráčů.
- Preference hráčů
Ve hře existuje herní platidlo DEK - Dark Elf Kredit, jeho kurz ke skutečné měně je $1\text{DEK} = 10\text{Kč}$. Díky své stálosti a herním významu je vhodným vyjádřením užitku hráčů. Preference hráčů budeme řadit do skupin: **dynamické**, **statické** a **ostatní**.

Dynamické preference

Jedná se o cíle hry, jejíž význam závisí na prestiži, jakou znamená dosažení cíle pro hráče. Obecně čím vyšší kategorie ligy, tím více záleží na jeho dosažení. Do této kategorie patří vítězství(dosažení stavu hry, který má význam výhry). Následující navržená metrika vychází z výše odměn, které hráči získají za výhru ve hře, množství bodů prestiže a také výše vstupních poplatků za účast ve hře a je rozpočítána mezi hráče podílející se na jejím dosažení(většinou se jedná o 8 hráčů).

Ohodnocení vítězství pro jednotlivé kategorie herních lig:

1. $87\text{DEK za výhru} + 3\text{DEK za body do hodnocení} = 90\text{DEK} \approx 14\text{DEK pro člena}$
 $4\text{DEK čistý zisk pro člena}$
2. $13\text{DEK za výhru} + 2\text{DEK za body do hodnocení} = 15\text{DEK} \approx 3,5\text{DEK pro člena}$
 $2,5\text{DEK čistý zisk pro člena}$
3. $4\text{DEK za výhru} + 1\text{DEK za body do hodnocení} = 5\text{DEK} \approx 1,5\text{DEK pro člena}$
 $1,5\text{DEK čistý zisk pro člena}$

Poznámka: odměna za výhru se obvykle dělí rovným dílem mezi členy vítězné aliance. Část popřípadě celou výhru, v některých případech dokonce ještě více nad rámec výhry může aliance nabídnout za podporu jiným hráčům. Od odměny je potřeba odečíst vstupní náklady, které jsou pro první ligu 6DEK za klíč + 4DEK za výběr startovní země, pro druhou ligu 1DEK a pro třetí ligu 0-0,5DEK.

Statické preference

Do této kategorie patří veškeré hmotné zisky hráče, které jsou přímo převoditelné na herní měnu DEK.

- Počet zemí(odvíjí se podle počtu hráčů v lize a úrovni ligy, přibližně se jedná o rozsah 0,01-0,5DEK za jednu zem hráče).
- Herní předměty (artefakty), které je možné prodat v aukci.
- Zajmutí nepřátelského hrdiny a jeho navrácení majiteli (společensky přijatelné výkupné 1-2DEK), nebo prodání v aukci (zisk se pohybuje od 5DEK až po desítky, či stovky DEK podle ceny hrdiny, ale patřičně poškodí reputaci takového hráče).

Ostatní preference

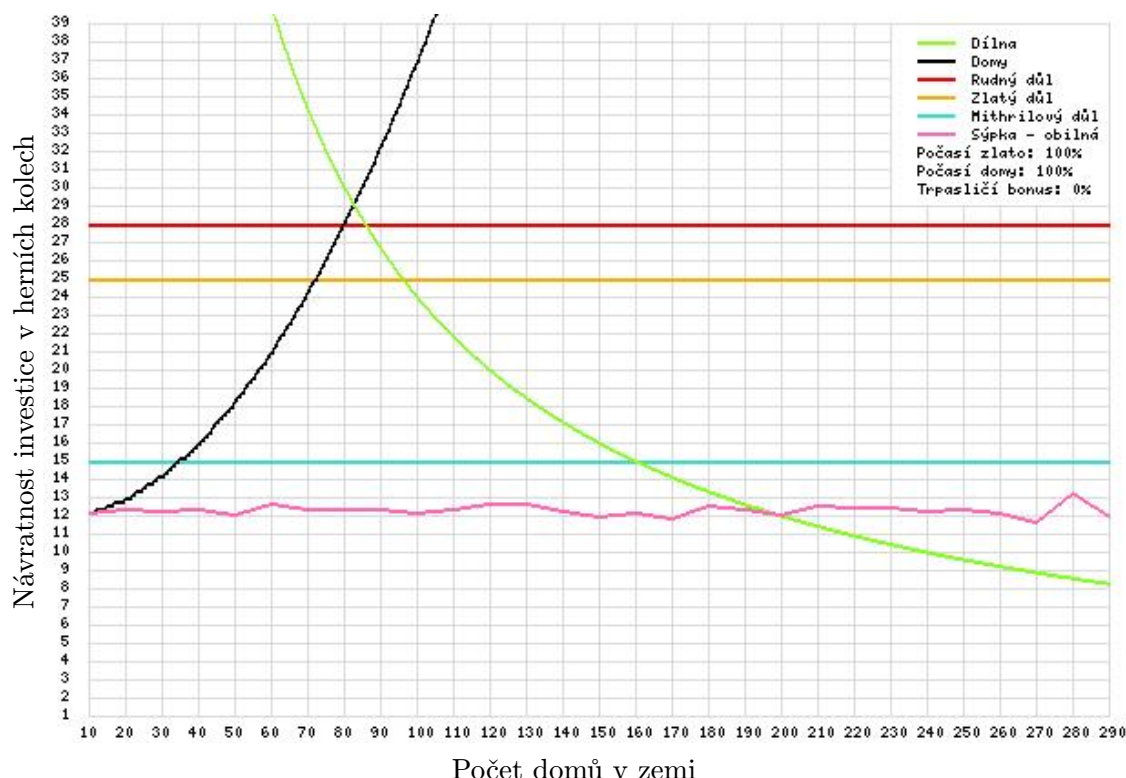
Do této kategorie patří preference hráčů, které mohou vysvětlit na první pohled iracionální chování hráčů z důvodu neznalosti osobního postoje hráče ke konkrétní hře.

- Pocit ze hry(subjektivní pocit obsahující prvky jako férovost, výhra nad silnějším hráčem, popřípadě potrestání někoho, kdo se provinil proti hráči či dobrým mravům).
- Smazání neoblíbeného hráče(dobyty jeho poslední země), popřípadě aliance, respektive jejich členů (lze ohodnotit imaginárním ziskem, o který hráče připravil v minulosti svým chováním).

Vlivy ovlivňující rozhodování hráčů

- Pověst, reputace určuje míru důvěry v hráče a jeho plnění závazků při kooperaci.
- Osobní zkušenosti, neboli paměť je silnější formou reputace založené na předchozím stavu hry, ve kterém měli hráči strategický konflikt.
- Jiné vnější vlivy (většinou neznámé) jsou poslední, nicméně stále významnou kategorií. Do této skupiny patří například indispozice ke hře, propadnutí tahu z důvodu zapomenutí, či jiné většinou osobní vlivy na racionalitu hráče. Přestože nejsou časté, mohou zásadně změnit chování hráče.

3.1.2 Pod-akce hráčů



Obrázek 3.2: Graf návratnosti ekonomických staveb

Návratnost investice je základním aspektem investice a je daná vztahem $\frac{\text{pořizovací cena}}{\text{zisk za kolo}}$. Podle ní se hráč rozhoduje do jakých akcí bude investovat, aby dosáhl co největšího zhodnocení. Nejdříve musí stavba vydělat na náklady s její stavbou a až následně tvoří čistý zisk.

Způsob výpočtu návratnosti pro jednotlivé typy staveb:

- Domy: obyvatel zaplatí na daních 5zl za herní kolo při vlivu počasí na zisk zlata 100% a pořizovací cena domu roste podle vzorce $\frac{\text{postaveno domu}^2}{81} + 61$ při vlivu počasí na cenu domů 100%. Aby hráč mohl mít více obyvatel v zemi, musí postavit dostatek volných domů. Zisk domu za 1 kolo odpovídá zisku jednoho obyvatele v něm bydlícím.

- Dílna: tato stavba zvedá příjmy obyvatel o 5% a tedy i výběr na daních a pořizovací cena je 600zl. Zisk dílny za 1 kolo je 5% z příjmů obyvatel v jedné zemi a závisí tedy na počtu obyvatel. Údaj v grafu 3.2 pro zjednodušení uvažuje počet obyvatel země je roven počtu domů. Stejně jako zisky z domů návratnost závisí na vlivu počasí na zisk zlata a cenu domů.
- Dolů: zisk z dolu nezávisí na počtu obyvatel v zemi a proto je v grafu znázorněn přímkou a každý typ dolu má jinou pořizovací cenu a zisky za kolo. Návratnost dolů může ovlivnit rasový bonus trpaslíků, který snižuje pořizovací cenu až o 30%.
- Sýpka: tato stavba zvedá porodnost obyvatel v zemi o 2 za kolo a zisk této stavby se dá vypočítat jako rozdíl zisků obyvatel v zemi se sýpkou a bez sýpky. Porodnost obyvatel bez sýpky odpovídá vzorci $\frac{\text{počet obyvatel}}{10}$. Zjednodušeně 1. kolo vydělává sýpka jako 2 obyvatelé, 2. kolo jako 4 obyvatelé, atd. Pozn. nerovnosti v grafu návratnosti sýpky jsou způsobeny tím, že díky sýpce dojde dříve k dosažení vyššího násobku 10 u počtu obyvatel a tedy zvětšení porodnosti o 1.

Graf 3.2 empiricky dokazuje, že sýpka má největší význam ve hře ze všech staveb. Kromě strategického významu v podobě rychlejšího zisku obyvatel v zemi má i nejnižší návratnost pod podmínkou dostatečného počtu volných domů v zemi (o 24 více než by bylo obsazené bez sýpky za 12 herních kol).

Uvážíme-li že racionální hráč chce dosáhnout největšího zisku, bude tedy volit optimální kombinaci pod-akcí k dosažení strategického cíle a můžeme tedy zanedbat jiné než optimální cesty k dosažení cíle, protože nemohou vést k dosažení vyššího zisku.

Úlohu tedy můžeme rozdělit na volbu strategie na globální úrovni (spolupracovat/bojovat) a optimalizační úlohu pro dosažení nejlepšího ekonomického základu pro každou variantu.

3.1.3 Interakce mezi hráči

Formy interakce jsou rozděleny na společenské a strategické podle způsobu, jakým na sebe hráči působí a jaké prostředky k tomu mají k dispozici.

Interakce společenské

Diplomacie, či komunikace v obecném smyslu slova je důležitým prvkem hry, může hráči přinést výhody, ale také i problémy. Mezi výhody patří kooperace hráčů, a tím dosažení efektivnějšího strategického profilu. Avšak příliš mnoho spojení, které by vytvořilo nepřiměřenou přesilu proti opozičním hráčům, vede k dlouhodobému poškození reputace hráče. Míru, jak je chování hráče dobré či špatné, určuje společenský kodex.

Kladně posuzované chování:

- Férový souboj (hráči se neseskupují do spojení větších jak opozice, výjimku tvoří aliance, která je sama o sobě limitována maximálně 8 členy a míry mezi hráči)
- Stálost aliance (aliance nedobírá jako náhradu za padlé členy hráče nové)
- Navrácení zajatých hrdinů opozičních hráčů jejich majitelům zdarma, popřípadě za symbolický poplatek

Negativně posuzované chování:

- Hra v přesile(2v1 a více)
- Hry se účastní více jak 8 členů z jednoho klanu, toto chování má mnohem horší dopad na pověst jak hra v dvojnásobné přesile.
- Dobírání nových hráčů za padlé členy aliance. Tomuto chování hráči dali název "hydra" a připomíná stav, kdy za jednoho padlého člena aliance doberou dva nové.
- Nevracení zajatých hrdinů, jejich úmyslné lovení, popřípadě vydírání vrácením za neadekvátní cenu

Interakce strategické

Hráči nemají žádné omezení na strategie, mohou na sebe libovolně útočit a kouzlit. Dále dobírat neutrální země či jen budovat ekonomii a magii. V případě, že bojuje hráč s hráčem, mají konečné množství strategií, ze kterých volí. Tato množina vyplývá omezením herními mechanismy a strukturou herního plánu. Mezi takové strategie patří:

- zaútočit na hráče dobyvačným útokem větším, než má maximální obranu,
- zaútočit na hráče dobyvačným útokem větším, než je obrana, pokud se rozhodne nebránit,
- zaútočit na hráče dobyvačným útokem větším, než je obrana, pokud se ji rozhodne neposílit,
- bránit všechny země před útoky protihráče větší obranou, než je jeho maximální útok,
- bránit podmnožinu zemí před útoky hráče větší obranou, než je jeho maximální útok,
- bránit země proti plenivým útokům o síle v řádu jednotek až desítek,
- nebránit,
- nezaútočit,
- zaútočit plenivým útokem v řádu jednotek až desítek,
- možnost využití volného průchodu ze zázemí,
- seslání podpůrného kouzla.

Poznámka: všechny útočné i obranné strategie se mohou libovolně kombinovat. Tyto strategie jsou poté shora omezeny ekonomickými možnostmi hráče.

3.1.4 Nekooperativní základ hry

Zlomový v tomto bývá herní den 3, kdy končí třídenní ochrana hráčů před útoky a kouzly mířenými přímo na jejich země. Během těchto tří dní hráči mohou naspořit část herních kol či nějaké finanční prostředky a tím roste množství dostupných strategií. Hráči mohou obvykle poslat útok o síle nad obranné možnosti nepřítele, ale také ve vybrané zemi vytvořit dostatečnou obranu. Tyto extrémní situace, kdy hráč investuje veškeré ekonomické

prostředky do jediného útoku či obrany, se ale nevyskytují často a jak dále ukáží, lze se poměrně snadno proti nim bránit.

Zlomovost tohoto herního okamžiku spočívá v množství mnohdy protichůdných strategií, na které je jediným řešením minimalizace negativního dopadu na hráče pomocí vyčíslení užitek hráče v každém strategickém profilu a volbu nejlepší odpovědi na strategii protihráče. Hledáme tedy ekvilibrium v nekooperativní hře. Tato universální strategie má ovšem velkou nevýhodu a tou je, že vede na poměrně neefektivní strategický profil.

Analyzujeme-li tento problém, dospějeme k závěru, že jsou výrazně lepší strategie, které při další interakci vedou na co největší množství dostupných strategií hráče a co nejmenší množství strategií protihráče.

Metody zvyšování počtu dosažitelných strategií hráče:

- Uchovávání části herních kol.
- Minimalizace stavu armády na nejmenší nezbytný stav ve prospěch nenaverbovaných obyvatel.
- Dobývat pouze země, které je možné udržet proti útokům dalších hráčů, nebo z nich úspěšně zaútočit na více než jednu další zemi nepřítele. Tuto informaci lze sice zjistit prohledáváním do hloubky několik herních tahů dopředu, ale je možné je již dopředu ohodnotit slabším užitekem.
- Při dobytí nepřátelské země se vždy snažit současně seslat na zemi kouzlo spokojenost. I když se kouzlo nevyužije, nutí nepřítele uvažovat více strategií. Hráč může minimálně dosáhnout dvou protichůdných strategií (s jistotou dobýt další zemi nepřítele, zastavit se a bránit zemi proti útokům hráče).
- Kdykoliv je to pozičně (existuje vnitro zemní země ve vzdálenosti 2 od hranic s nepřítelem) i ekonomicky (hráč je schopen poslat útok přes volný průchod, který je dražší při stejné síle jak útok přes válku) je vhodné si nachystat smlouvu volný průchod mezi zeměmi ve vzdálenosti 1 a 2 od hranic s nepřítelem. Přejde-li totiž hráč o hraniční zemi, je schopen v druhé obranné linii bránit a přes volný průchod ze třetí linie poslat protiútok. Protihráč má potom pouze jedinou možnou strategii, nebránit a neútočit a při protiútku hráče o zemi přijít.
- Bránit své země s nízkým počtem obyvatel před nepřátelským kouzlem nespokojenost a pokud je to strategicky výhodné seslat na sebe kouzlo spokojenost.

Metody snižování počtu dosažitelných strategií protihráče:

- Donutit strategickým tahem protihráče odehrát všechny herní kola.
- Udržovat země hráče s nízkým počtem obyvatel pod nespokojeností, nízká porodnost obyvatel znemožňuje přestavění obraného složení armády na útočné či naopak.

3.1.5 Komunikace hráčů

Formy komunikace hráčů:

- Interní pošta
- Skupinové forum
- Externí komunikační programy jako Skype, Jabber, Facebook
- Osobní setkání
- Komunitní srazy hráčů

Komunikace hráčů není žádným způsobem omezena. Mnoho hráčů má předchozí přátelství mimo hru, popřípadě se jedná o spolužáky ve škole, nebo kolegy v práci. Ve hře se vyskytuje forma segmentace hráčů do skupin zvaných "klany". Tyto skupiny spojují hráče názorově, pravidelně spolu hrají a určují také komu dají přednost v otázce spolupráce. Členství v klanu je dlouhodobým stavem přesahující rámec trvání jedné epizody hry.

3.1.6 Kooperace ve hře

Kooperaci můžeme rozdělit na tři druhy: pasivní, aktivní a aliance. Znalost o existenci pasivní či aktivní formy koalice mají pouze její členové, ale ostatní hráči mají spoustu indicií, podle kterých mohou existenci této koalice předpokládat.

Pasivní kooperace (mír)

Do pasivní kooperace byla zařazena dohoda o míru mezi hráči. Hráči se nemusí domlouvat na přesném strategickém profilu, který chtějí zahrát, ale pouze určí množinu svých strategií, které se v závislosti na dohodě zavážou nehrát. Mezi ně z pravidla patří veškeré vzájemné útoky a kouzla. Nad touto redukovanou množinou strategií pak nezávisle na sobě vyhledají rovnovážný bod a porovnají užitek z něj s užtkem, jaký by získali bez spolupráce. Pokud je tento zisk alespoň stejně velký, ale uvažujeme, že vzhledem k výdaji (čas ztrávený komunikací) striktně větší pro všechny účastníky koalice, je pro hráče výhodné tuto koalici utvořit.

Aktivní kooperace (spojenectví)

Zahrnuje omezení množiny strategií, jako je tomu u pasivní kooperace, ale navíc umožňuje, ne-li vyžaduje možnost volby konkrétního strategického profilu, který hráči zahrají. Taková kooperace obsahuje minimálně ohlašovací povinnost, kdy si hráči vzájemně sdělí, kterou strategii zvolili a zbylí členové mohou na tuto informaci zareagovat svou nejlepší odpovědí.

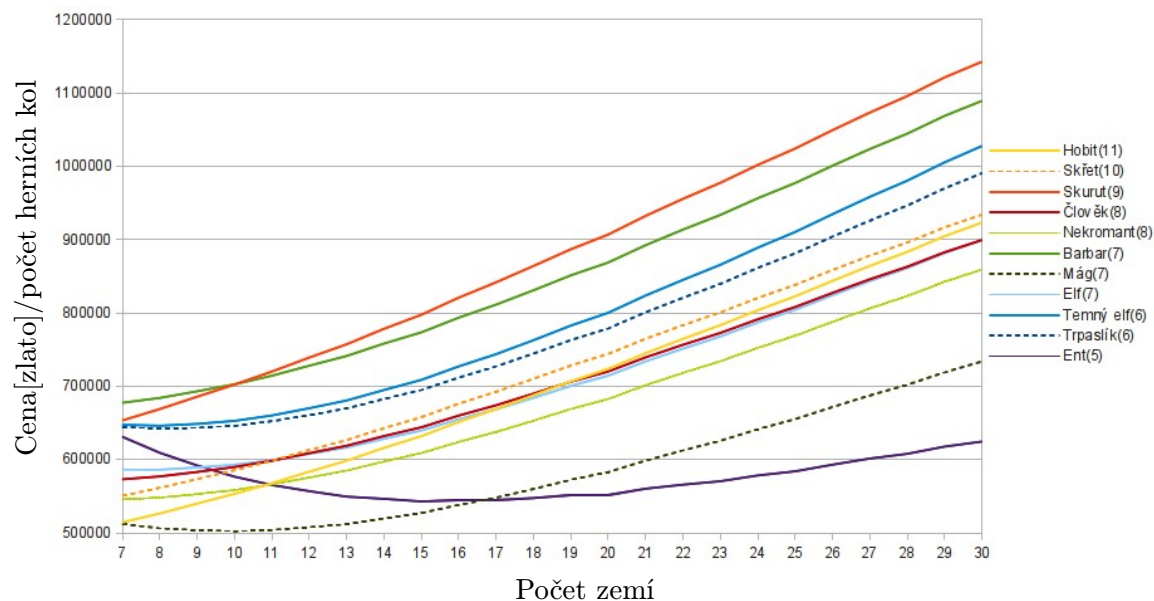
Členství v alianci

Jedná se o typ aktivní kooperace, který je navíc viditelný všem hráčů ve hře a oproti aktivní kooperaci mají navíc možnost sdílení ekonomických prostředků mezi členy.

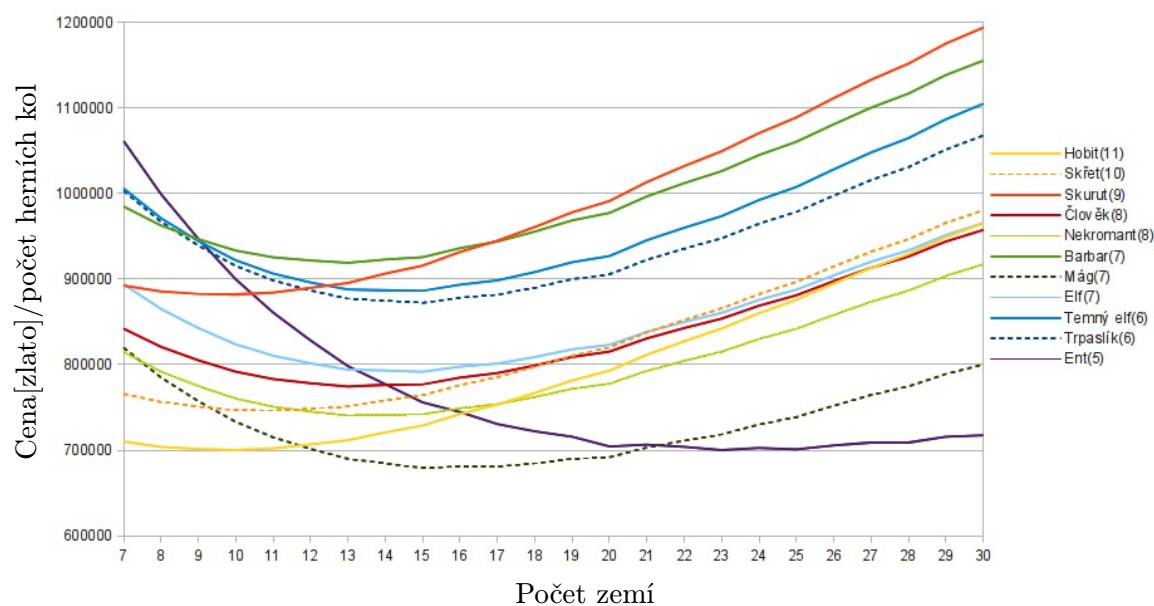
3.1.7 Herní rasy

Pro hráče, který má v zájmu získat dostatečnou sílu kouzel pro kouzlo na Zemi DarkElfa, patří ve hře k nejzásadnějšímu výběr herní rasy. Mezi tradičně nejrychlejší rasy patří hobiti, za dobrých podmínek mohou zavřít i 10. den, druhými v rychlosti jsou mágové, kteří mají maximum kolem 12 dní a velmi překvapivě z následujících grafů jako třetí při určitých podmínkách vychází enti, přestože mají ze všech ras nejméně kol, a tedy i nejmenší

ekonomickou sílu.

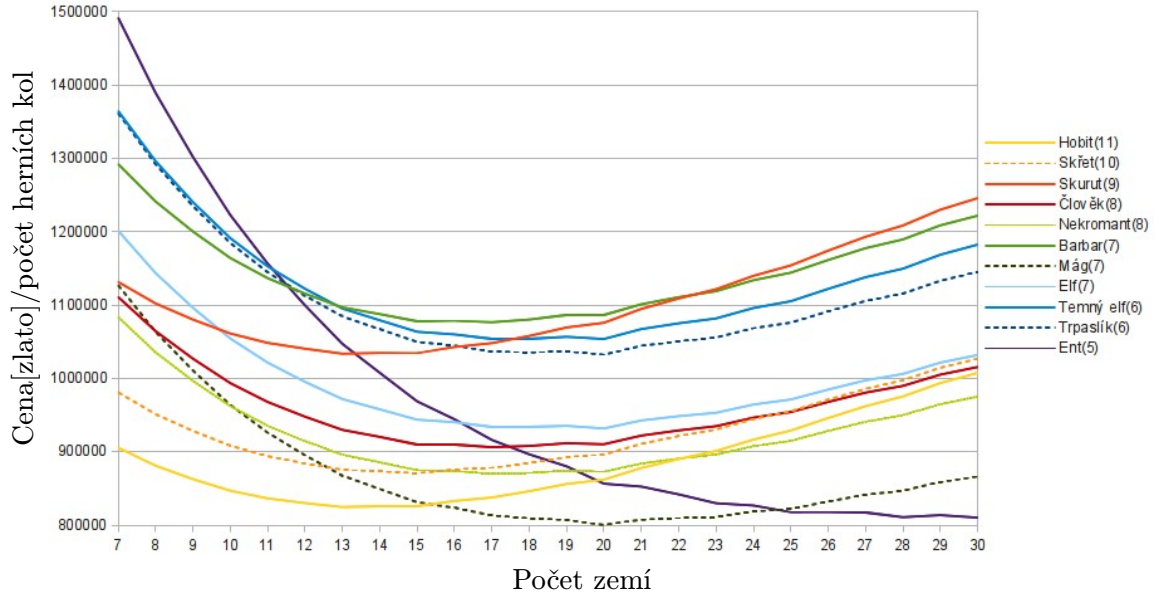


Obrázek 3.3: Náklady herních ras na SK 2000 při vlivu počasí na cenu domů 50%



Obrázek 3.4: Náklady herních ras na SK 2000 při vlivu počasí na cenu domů 100%

Grafy 3.3, 3.4 a 3.5 zobrazují náklady na splnění podmínek pro sílu kouzel(SK) 2000 váženou počtem herních kol rasy. V celkové sumě je započítána cena staveb s bonusem k síle kouzel, konkrétně 10000 zlata a 10000 many za velkou magickou věž(VMV) v každé zemi dávající bonus 0,2, cena domů potřebných pro ubytování dostatečného množství mágů, cena mágů ve zlatě a maně a mana je přepočítána na zlato v kurzu žold jednotky plus zisk jednoho obyvatele. Jinými slovy, hráč za vyrobení jedné jednotky many zaplatí žold za magickou jednotku a navíc přichází o daň, kterou by odvedl obywatel v zemi. Počáteční



Obrázek 3.5: Náklady herních ras na SK 2000 při vlivu počasí na cenu domů 150%

stav všech zemí pro výpočet je 50 domů, žádné magické stavby s bonusem k síle kouzel, 50 obyvatel a 0 magických jednotek, při vyšším základu bude cena úměrně nižší. Síla kouzel je počítána podle vzorce 3.1:

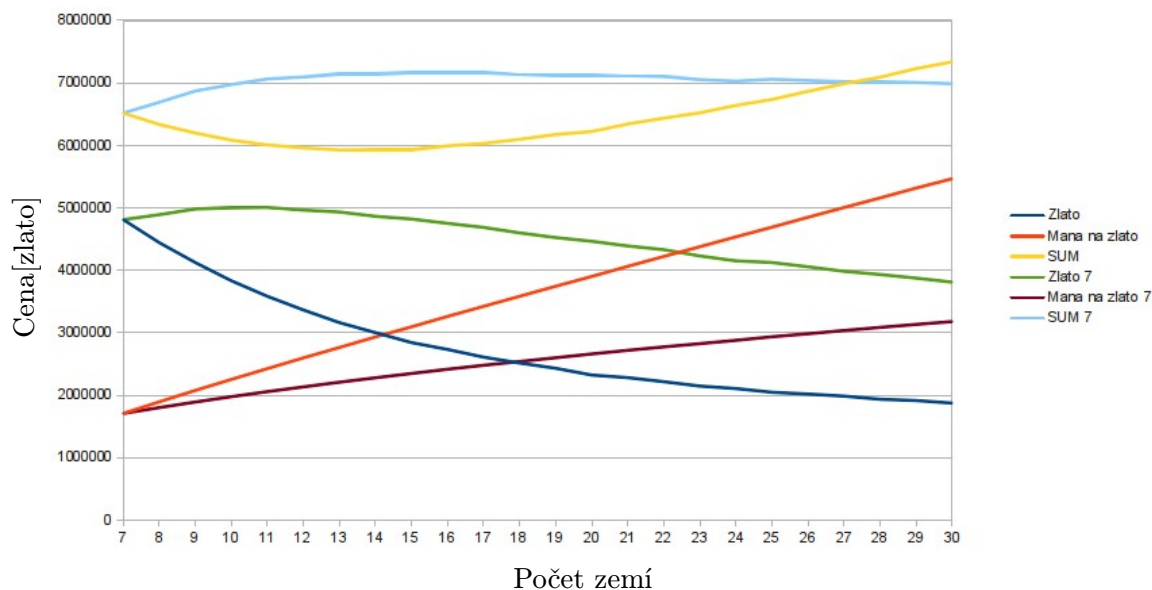
$$SK = \frac{\sum_{l \in L} l.mag}{|L|} * 2 * bonus\ stavby \quad (3.1)$$

Pozn. v modelu je pro predikci splnění podmínky výhry na sílu kouzla použit vztah pro zbývající náklady na domy, stavby a magické jednotky k dosažení dostatečné síly kouzel.

Pro úplnost je v grafu 3.6 uvedeno srovnání celkových nákladů pro dosažení SK 2000, při stejných podmínkách pro herní rasu člověk a počasí 100%. Graf zobrazuje dva průběhy rozložené na jednotlivé složky, jeden pro případ, kdy je v každé zemi postavena velká magická věž a druhý pro přesně 7 velkých magických věží doplněných věžemi středními (SMV) s cenou 2000 zlata a 2000 many a bonusem 0,1 k síle kouzel. Druhá varianta má za cíl snížit vysoké náklady na stavby s bonusem k síle kouzel. Průběhy (v grafu označeny jako SUM a SUM7 pro omezení na 7 VMV) jsou rozloženy na dvě složky, náklady na zlato a náklady na manu přepočteny v kurzu 1:15 na zlato. V druhém případě sice dojde ke snížení nákladů na stavby, ale díky nižšímu bonusu je potřeba více mágů a tedy i domů. Z grafu je patrné, že šetření v podobě středních magických věží se vyplatí až při poměrně vysokém počtu zemí. Vyrovnání nákladů na zařízení nastane až při 27 zemích, které patří spíše k nadprůměrnému počtu, který hráči často nedosahují.

3.1.8 Složitost hry

Uvažme střední fázi hry, mějme hráče, který má 10 herních kol a vlastní 10 zemí, v zemích má 100 domů plně obsazených lidmi. V každé zemi je možné naverbovat až 80 vojenských jednotek libovolně nakombinovaných ze 3 typů. Každá země může být pod 18 kombinacemi vlivu kouzel. Za normální porodnosti, pokud by hráč stavěl dostatečný počet domů, může



Obrázek 3.6: Srovnání nákladů na SK 2000 při různém počtu VMV

přijít až 96 lidí do každé země, s nespokojeností 40 a se spokojeností až 249. Tyto hodnoty porodnosti jsou v případě, že v zemi je postavená sýpka, jinak bude porodnost menší. V každé zemi je možné postavit různý počet domů a v různý okamžik postavit stavby. Staveb je 38 druhů a v každé zemi může být postavena libovolná podmnožina. Průměrně každá země sousedí s 5 dalšími zeměmi, mezi kterými je možné nastavit jednu ze 6 druhů smluv, které ovlivňují existenci dalších možností. V oblasti útoků je možné poslat libovolnou kombinaci vojenských jednotek ze země na okolní země a existují 3 typy útoků. Uvážíme-li dále maximální počet seslaných kouzel 80, existuje 37 druhů kouzel a je možné seslat libovolnou kombinaci kouzel na kteroukoliv zemi z 341, dostáváme se daleko za možnosti samotného vyčíslení všech možných strategií, natož kombinací s dalšími hráči ve hře, kde běžný počet hráčů je 10-40.

Množství strategií » $4e+256$.

Musíme tedy navrhnout heuristickou funkci, která vezme v úvahu pouze rozumný počet strategií hráče bez zanedbání významných herních strategií. Tato rozumná hodnota je v řádu stovek strategií pro každého hráče.

3.2 Dotazník

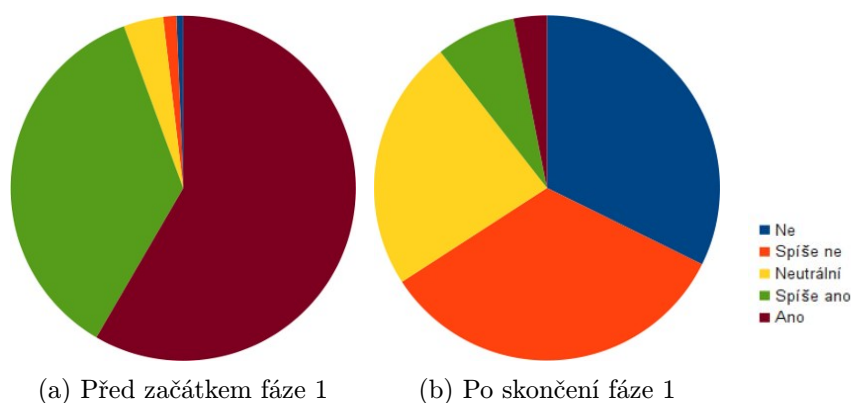
Dalším zdrojem informací o chování hráčů použitým v této práci je dotazník, kterého se zúčastnilo 161 hráčů z 300-400 aktivních hráčů hry DarkElf. Můžeme tedy mluvit o statisticky významném vzorku herní komunity a cílem tohoto dotazníku je zvýšit věrohodnost závěrů vyvozených v této kapitole.

3.2.1 Použitá metodika

Dotazník klade sérii otázek se zdánlivě opačným významem, jejich účelem je validovat hráčovo pochopení otázky pomocí odpovědí z více úhlů pohledu. Znění otázek bylo též

navrženo s ohledem na srovnání osobních předpokladů o chování hráčů s výsledky dotazníku. Následné zhodnocení odpovědí využívá zkušenosti autora práce s herním prostředím a srovnává jeho zkušenosti s výsledky dotazníku.

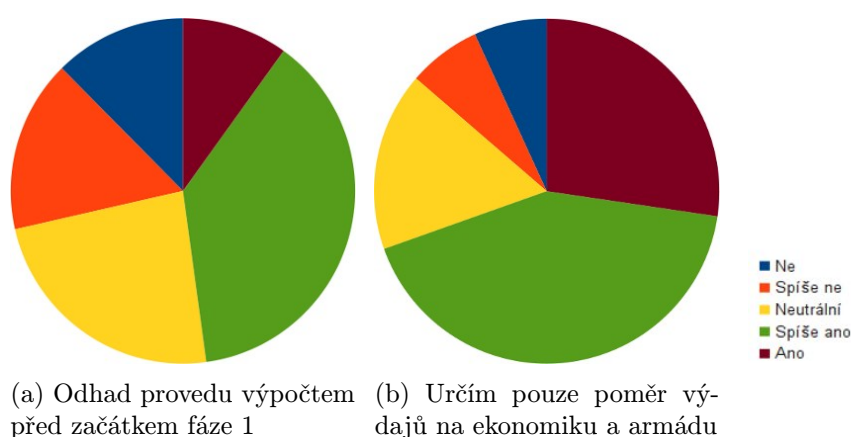
3.2.2 Volba strategií



Obrázek 3.7: Okamžik volby strategie hráče

Podle grafu 3.7a se naprostá většina respondentů (94%) rozhodne o volbě strategie před samotným odehráním herních kol. To znamená, hráč si určí, na které neutrální země a na které hráče se mu vyplatí zaútočit a se kterými by raději spolupracoval. Určí si také jaké stavby, kolik domů postaví, či zda bude budovat magii a k tomu nezbytné vojenské jednotky třetího typu.

S jakou přesností a detailem ukazuje graf 3.7b, kde se 34% hráčů staví kladně, či alespoň neutrálně k možnosti, že finální volbu strategie upraví až v závislosti na tom, jak efektivně se jim podařilo využít herní kola a správně zvolit rozdělení prostředků mezi zvolené cíle.



Obrázek 3.8: Míra znalosti síly ekonomiky hráče

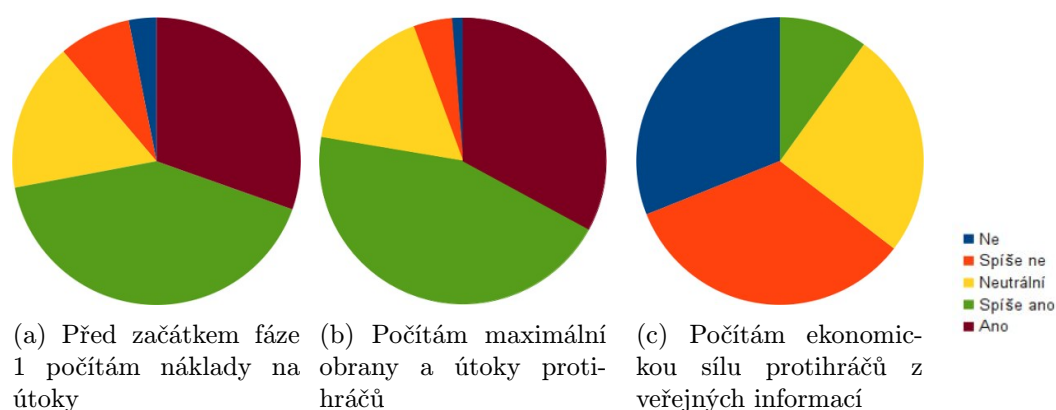
Neznalost síly své vlastní ekonomiky, její špatný odhad oběma směry má velmi negativní vliv na možnosti rozhodování hráče a tím i na jeho množství možných strategií. Podle

průzkumu 3.8a 48% respondentů počítá přibližné zisky, kterých může hráč dosáhnout a množství prostředků, které může dále využít. Přesnost, s jakou hráči odhadují sílu a vývoj jejich ekonomiky, bude důležitým parametrem modelu chování, protože určuje, jak odvážné strategie jsou ochotni volit.

Graf 3.8b nám ukazuje, že velká část hráčů (70%) určuje poměr, kolik prostředků, jinými slovy herních kol, věnují budování ekonomiky a zbytek na výdaje spojené s útoky. Jedná se o neschopnost provést odhad před začátkem odehrání herních kol a nechávají volbu strategií hráče na pozdější okamžik. Zpravidla se jedná o třetinu až polovinu zbylých herních kol.

Podcenění vede k neefektivnímu využití herních kol a zbytečnému vyloučení jinak dosažitelných strategií. V tomto případě všechny strategie hráče, které vyhodnotil před odehráním herních kol, jsou dostupné, ale hráč vyloučil strategie, které dostupné být mohly a vedly k lepšímu užítku.

Přecenění naopak vede k nutnosti dodatečné redukce strategií hráče, protože jednoduše není dostatek zdrojů k provedení všech akcí hráče. Hráč poté musí znovu vyhodnotit, které strategie jsou dostupné a nad nimi hledat nejlepší strategii.



Obrázek 3.9: Strategické plánování hráče

Množství respondentů 3.11a, kteří počítají náklady na útoky je 72%, což je více jak 48% hráčů, kteří počítají své přibližné zisky 3.8a, ale přibližně koresponduje s údajem o určování podílu mezi ekonomickými a vojenskými náklady 3.8b. Znamená to tedy, že téměř polovina hráčů je schopna naplánovat možné strategie, vypočítat náklady s nimi spojené a dle odhadu síly ekonomiky i určit, které z těchto strategií jsou dostupné. Zbylá část hráčů není schopna zvládnout fázi 1 efektivně a může se připravit o dostupnost některých strategií.

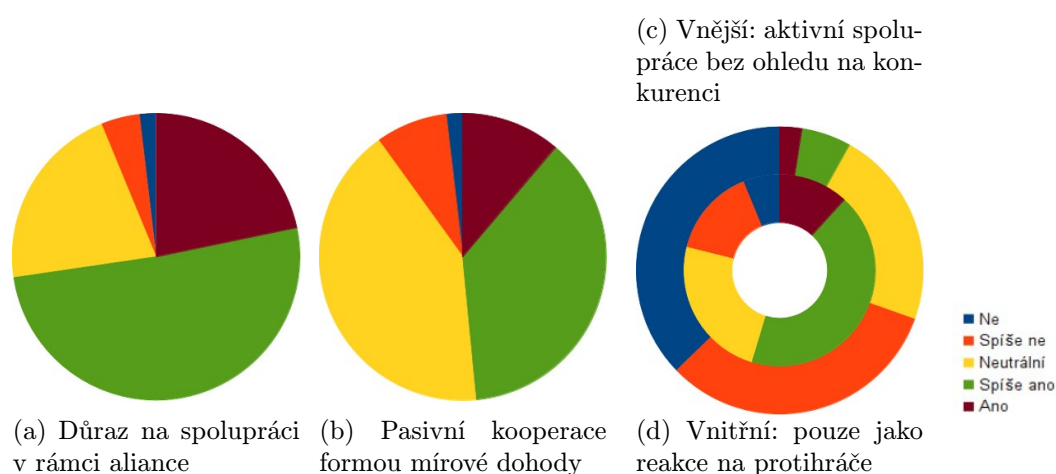
Podle grafu 3.11b lze vidět, že 78% hráčů si jsou vědomi rozsahu možností protihráčů, a tedy jsou schopni zvážit důsledky jejich případných akcí i případný užitek možných strategických profilů.

Na otázku 3.11c, zda počítají přibližné zisky nepřátel, neodpověděl rezolutně ano nikdo a jen pouze 10% respondentů občas zisky nepřátel počítá. Toto zjištění není překvapivé díky složitosti tohoto výpočtu, pokud není vyhodnocený automaticky pomocí nějakého

programu a ze zkušenosti se pohybuje kolem 20 minut na jednoho protihráče a vyžaduje rozsáhlejší znalosti herního systému a jeho mechanismů. Zbylí hráči odvozují ekonomickou sílu nepřítele ze svých osobních zkušeností v podobných podmínkách (pokud je mají), nebo z porovnání svých zisků s protihráčem s ohledem na velikost hráče podle herních statistik.

Podcenění zisků protihráče vede špatnému odhadu dostupných strategií protihráče a tím i špatnému odhadu jeho nejlepší strategie. Jedná se o nejhorší možnou situaci, jelikož hráč s přesvědčením, že některé strategie hráče nejsou dostupné, volí útok či obranu, na kterou spotřebuje velké množství prostředků a nevede k zisku či udržení země.

3.2.3 Vztah hráčů ke kooperaci



Obrázek 3.10: Vztah hráče ke kooperaci

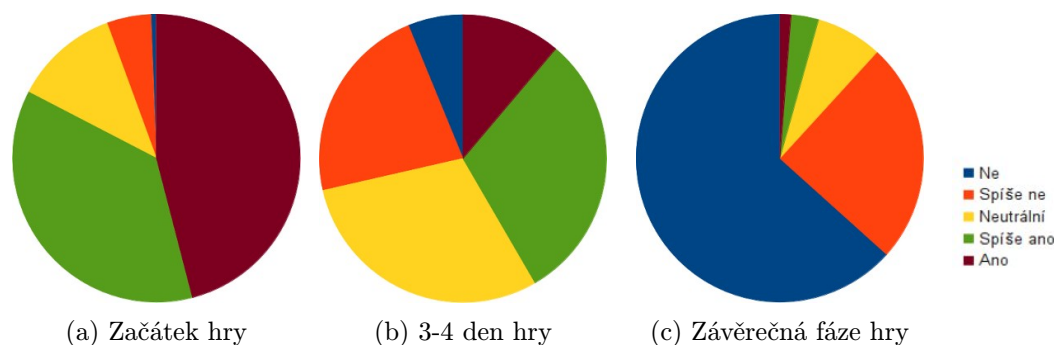
Grafy o využití různých forem kooperace ukazují různý postoj hráčů k míře využívání míru a spojenectví. U spojenectví je ještě zohledněn postoj k spojenectví zajišťujícímu jistou výhru, kdy se například v situaci 3 podobně silných aliancí hráčů 2 domluví proti zbylé, nebo situaci, kdy je možnost různých koalic pestřejší a je možné dorovnat, nebo alespoň snížit převahu opozice.

V případě míru ho 49% hráčů aktivně používá a 42% k němu má neutrální postoj a bude-li jim nabídnut a bude pro ně výhodný, tak ho přijmou. Naopak postoj ke spolupráci je mnohem chladnější, roli v tom má negativní pověst hráče vyhledávajícího přesilu i samotný fakt větších nároků na komunikaci mezi hráči.

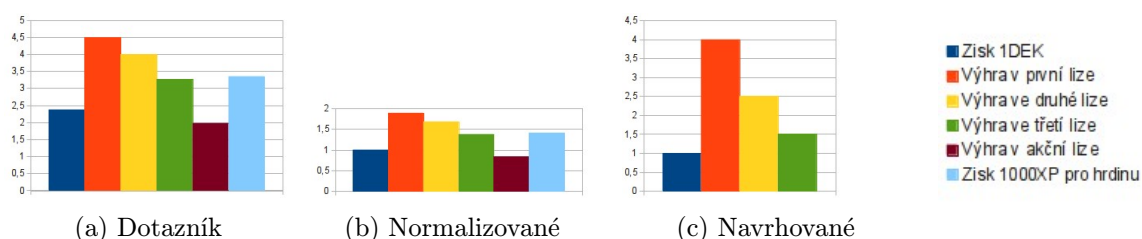
3.2.4 Preference hráčů

Třetí část dotazníku se týkala preferencí hráčů a herních prvků, které využívají.

Graf 3.12 zobrazuje užítky hráčů z různých odměn ve hře, toto hodnocení hráčů řádově



Obrázek 3.11: Okamžik vstupu hráče do aliance



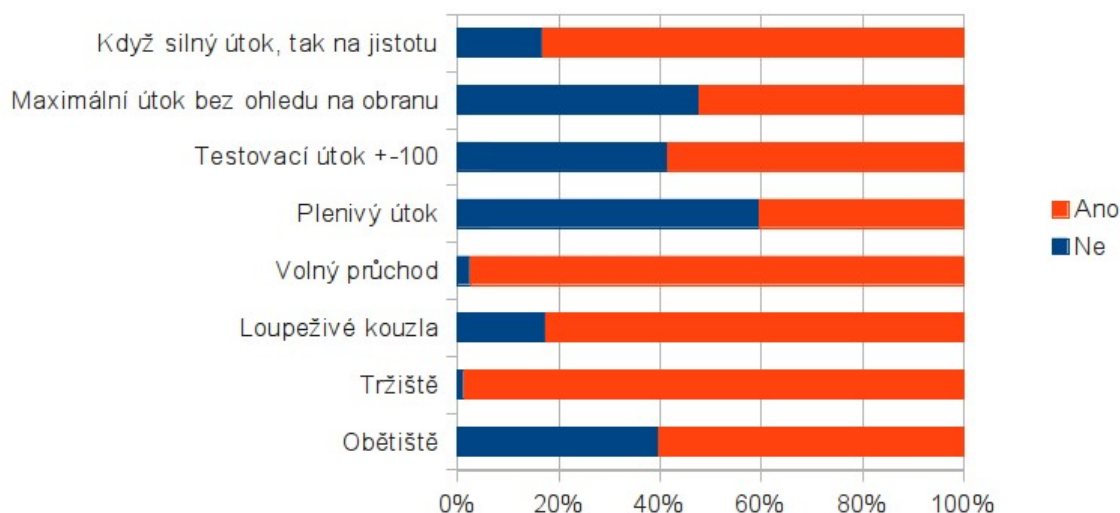
Obrázek 3.12: Srovnání preferencí hráčů s návrhem založeným na přepočtu výhry

odpovídá přepočtu odměn v kapitole 3.1.1. Jako referenční prvek pro srovnání bylo použito ohodnocení užitku z herní měny DEK.

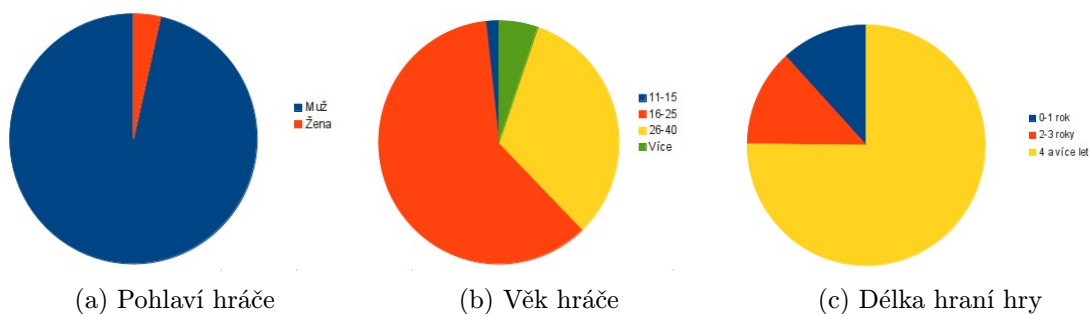
Graf užití herních prvků ukazuje procentuální využívání jednotlivých prvků mezi hráči a jeho účelem v dotazníku bylo zjištění jejich významnosti. První dva řádky grafu vykazují mírný spor. Ten může být způsoben sklonem hráčů k riziku.

3.2.5 Dodatečné otázky

Následující otázky slouží k doplnění obrazu o tom, jací hráči hry DarkElf jsou. Hra je vojenského a strategického charakteru, takže není překvapením zastoupení mužské populace mezi jejími hráči 3.14a. Většina hráčů je složena ze studentů středních a vysokých škol ve věku do 26 let 3.14b, tito hráči mají většinou velké množství volného času pro hraní, ale nejsou ochotní příliš investovat finanční prostředky do hry 3.15 a má pro ně zisk herní měny DEK větší význam. Další významná skupina jsou již pracující lidé ve věku 25-40 let. Tato skupina se již vyznačuje menším množstvím času pro hru a větší ochotou investovat do podpůrných služeb ve hře a většina z nich DEKy kupuje. Poslední skupina starší jak 40 let zřejmě považuje hru DarkElf jako svůj koníček, ale již nejsou ochotní se herně snažit pro zisk DEKů a všichni hráči v této kategorii zvolili možnost, že DEKy kupují. DEKy lze získat i ve hře, ale zisk jednoho kreditu trvá v průměru týden hraní hry. Poslední otázka v dotazníku 3.14c ukazuje, že většina hráčů jsou tzv. veteráni a mají rozsáhlé zkušenosti se hrou, i když v mnoha případech to neznamená vysokou míru racionality při hře.



Obrázek 3.13: Použití herních prvků



Obrázek 3.14: Informace o hráči

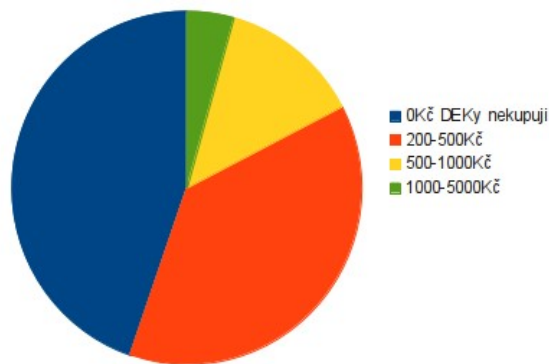
3.3 Statistická analýza historie hry

Graf 3.16 ukazuje průměrný počet zemí hráčů v průběhu hry, tento počet hráči očekávají. Dosažení, nebo naopak nedosažení této průměrné hodnoty má vliv na užitek hráče, jelikož počet zemí je jednou z metrik užitku.

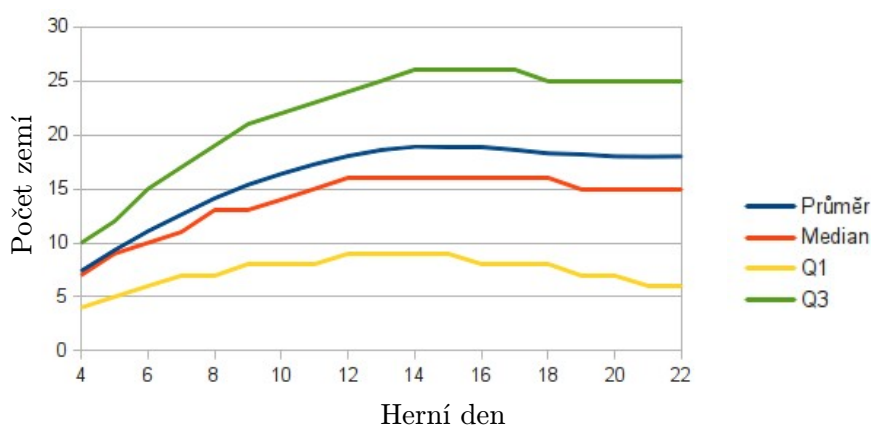
V první třetině hry je růst zemí hráčů vysoký, protože nedošlo k vyčerpání neutrálních zemí a zisk zemí je v této části hry hlavní prioritou. Od počtu zemí se odvíjí následující růst ekonomiky hráče a rychlost dosažení potřebné ekonomické síly pro ukončení hry (podmínka dostatečné síly kouzel).

Ekonomický koeficient 3.17 je definován jako poměr $\frac{\text{pocet vnitrozemních zemí}}{\text{pocet zemí}}$ a určuje procentuální poměr kolik zemí hráče slouží čistě k ekonomickému zisku a kolik je zatíženo válkou s okolními hráči. Snahou hráče je dosáhnout co nejvyššího koeficientu.

Tento koeficient by neměl být dlouhodobě nižší jak 50%, jinak hráči hrozí stagnace ekonomiky. Přestože může vojensky dominovat nad konkurencí, ta, pokud si drží tento koeficient vysoko, může hráče překonat v síle a tím i zvrátit nepříznivý vývoj. Hru vyhrávají ti hráči, kteří jsou schopni ušetřit na vojenských nákladech a přitom neztratit země.



Obrázek 3.15: Finanční hotovost, kterou hráč investuje do hraní hry za rok

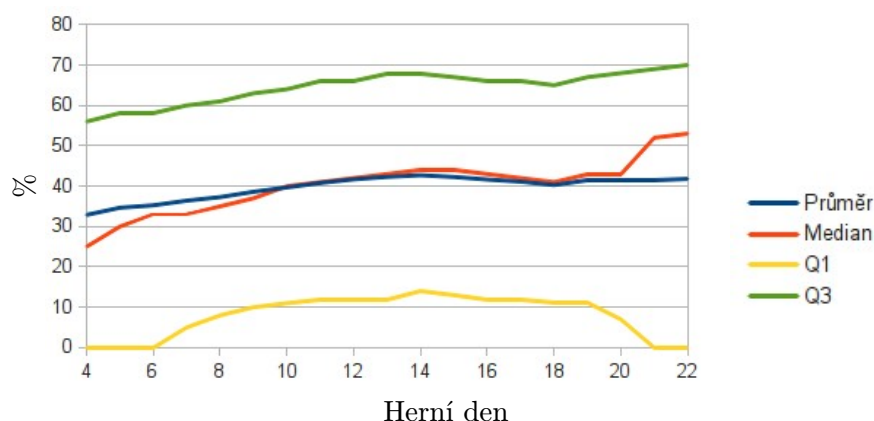


Obrázek 3.16: Vývoj počtu zemí hráčů

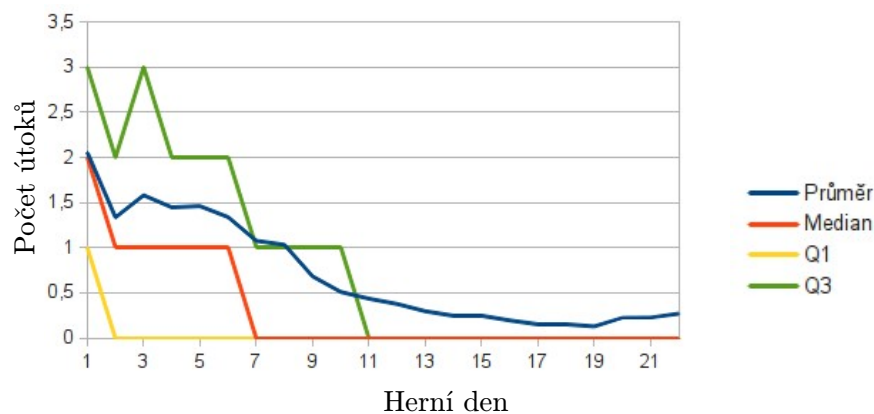
Jedním z cílů hry je dosažení dostatečného množství zemí pro závěrečný útok na Zemi DarkElfa a nejsnadnější způsob jejich zisku jsou neutrální země. Tyto země mají relativně nízkou a predikovatelnou obranu a hráči nehrozí protiútok. Ranná fáze věku (prvních 5 dní) je převážně v režii zabránění co největšího počtu neutrálních zemí. Průměrné zisky těchto zemí zachycuje graf 3.18. První kvartil ukazuje, že přibližně čtvrtina hráčů dobude pouze jednu zemi a dále již nehraje. Tento jev nastává převážně v nižších ligách, kde velká část nováčků ztrácí zájem o hru první den a dále již nepokračují ve hře, ve vyšších ligách bude průměr zisku neutrálních zemí mnohem větší.

Hráč je ve volném prostoru bez nepřátel schopen dosáhnout téměř kvadratického růstu počtu zemí a ten si udržet až do 4-5 dne ligy, kde zpomalení způsobuje pouze nedostatek sousedících zemí. Je tedy výhodné pro hráče volit odlehle místo s dostatkem neutrálních zemí. Pokud se na stejnou otázku podíváme z druhého pohledu, je pro alianci hráčů výhodné tento prostor snížit protihráčům. Tento rozpor je možné řešit více způsoby:

- Nezpomalovat konkurenci a veškeré prostředky využít na rychlejší dosažení výhry, než to dokážou protihráči.



Obrázek 3.17: Vývoj ekonomického koeficientu hráčů

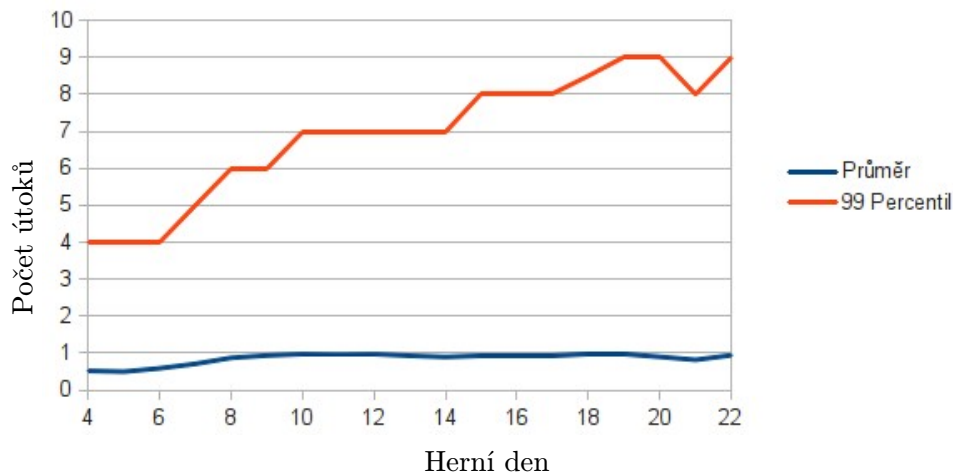


Obrázek 3.18: Vývoj počtu útoků na neutrální země

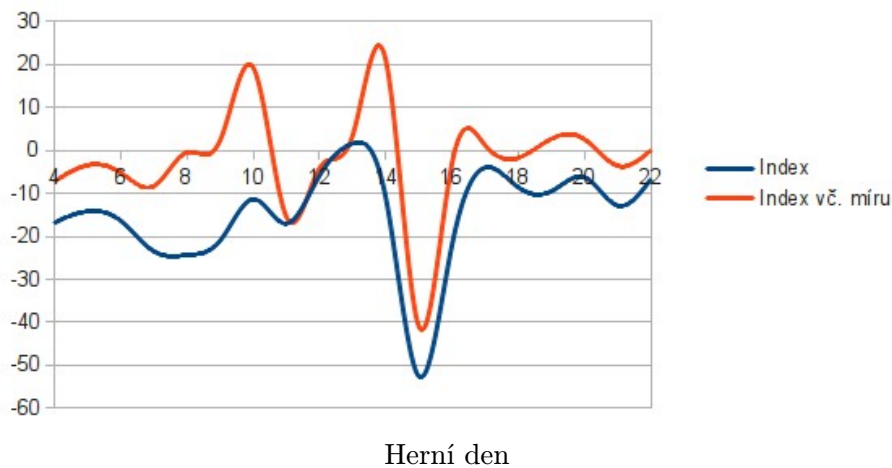
- Výběrem počátečních zemí co nejvíce omezit konkurenci, při udržení určitého ekonomického růstu v koalici.
- Kombinace obou výše uvedených přístupů. Část hráčů bude mít za úkol co nejvíce omezit protihráče a zbytek se soustředí na dosažení podmínek pro ukončení hry.

Oproti tomu útoky na cizí hráče [3.19](#) znamenají značnou ekonomickou zátěž. Úspěšný útok na hráče může spotřebovat i 20-50% ekonomického potenciálu hráče a většinou je hlavním cílem ekonomicky poškodit nepřítele. Ztráta země pro hráče představuje okamžitou ztrátu prostředků, které určil na obranu země, dále cenu staveb a hlavně odkrytí dalšího vnitrozemí, které hráč musí bránit. Jedná se tedy mimo jiné o prostředek zpomalení ostatních hráčů, aby dosáhli podmínek pro ukončení hry co nejpozději.

Graf [3.20](#) ukazuje průměr bezpečnostního koeficientu hráče v průběhu věku. Tento koeficient byl navržen tak, aby co nejlépe vystihl pocit bezpečí hráče. Kladně vyhodnocuje spojence nebo hráče, se kterými nebojuje a záporně hráče v otevřeném konfliktu nebo potenciální nepřátele. Do tohoto koeficientu jsou zahrnuti hráči do vzdálenosti čtyř zemí. Čím blíže se nachází, tím více ovlivní koeficient. Přírůstek do koeficientu je navíc vážený poměrem celkové síly hráče ku protihráči.



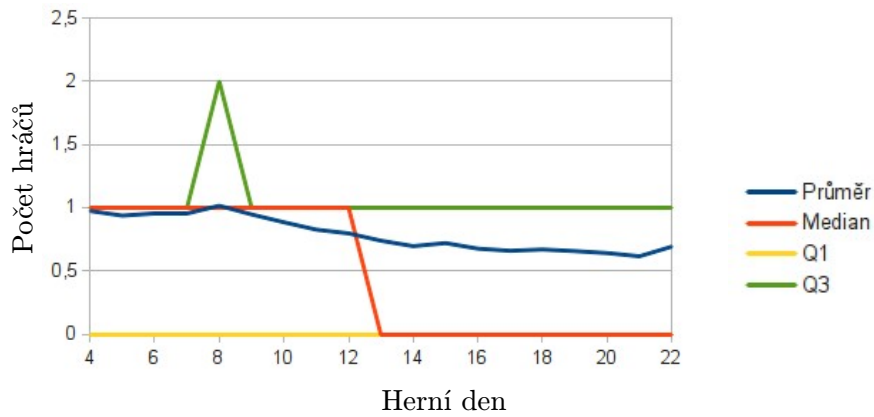
Obrázek 3.19: Vývoj počtu útoků na cizí hráče



Obrázek 3.20: Vývoj bezpečnostního koeficientu hráče

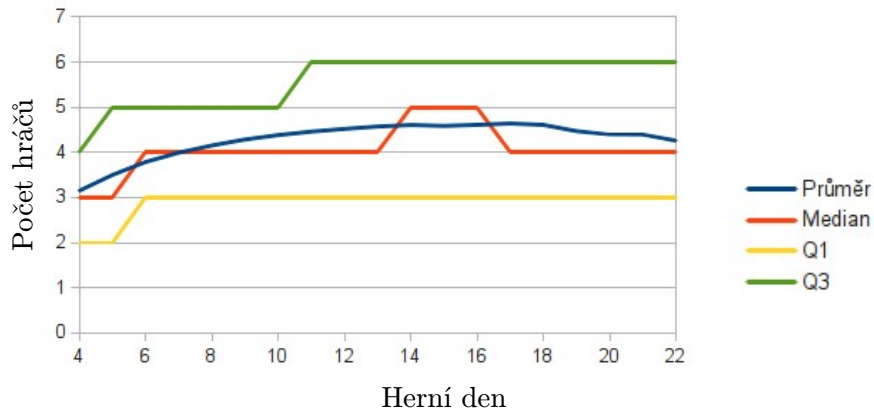
V grafu 3.20 jsou znázorněny dva průběhy. Modrý index uvažuje jako spojence pouze hráče v alianci, u kterých je veřejně známá informace o spojení. Červený index zavádí pravděpodobnost skryté kooperace podle doby od poslední vojenské konfrontace mezi danými hráči. Tyto průběhy obsahují tři zajímavé záporné špičky kolem dne 8, 11 a 15 a představují vysokou míru vojenské aktivity. Poslední vrchol 15. den představuje závěrečné úsilí o získání vojenské převahy nad opozičními hráči. Další zajímavý úkaz představuje kladná výchylka červeného indexu vždy před velkou negativní výchylkou a její výše odpovídá následné negativní výchylce.

Graf 3.21 zachycuje množství hráčů, se kterými hráč současně vede válečný konflikt. Tento graf ukazuje, že většina hráčů se snaží současně bojovat maximálně s jedním protihráčem, avšak jsou patrné mírné výkyvy den 8 a 15. Srovnáme-li výsledky s grafem 3.20, vidíme že množství bojujících hráčů postupně klesá od maxima den 8, ale výkyv den 15 může naznačovat velký nepoměr sil bojujících stran.



Obrázek 3.21: Vývoj počtu sousedních hráčů ve válečném stavu s jedním hráčem

Z grafu 3.22 vyplývá, že hráči stabilně spolupracují s velkým množstvím hráčů. Většina



Obrázek 3.22: Vývoj počtu sousedních hráčů ve stavu neútočení s jedním hráčem

těchto hráčů jsou členové stejné aliance, ale jsou v něm zahrnuty i ostatním hráčům neznámé spojení a míry. K vyhodnocení bylo využito sledování vojenských konfliktů a pravděpodobnost koalice byla vypočítána následujícím vztahem:

$$\Delta k = \left(\frac{dnu \text{ bez utoku}}{dnu \text{ bez utoku} + 2} - \frac{2}{dnu \text{ bez utoku} + 2} \right) * (d_{max} - d) * \frac{silaprotihrace}{silahrace} \quad (3.2)$$

kde $d_{max} = 4$ je maximální vzdálenost pro výpočet koeficientu a $d \leq 4$ je vzdálenost protihráče.

3.4 Interpretace výsledků

Pasivní forma kooperace svou četností výskytu převládá nad aktivní formou. Během prakticky každé hry hráč alespoň jednou s nějakým hráčem spolupracuje. Zato aktivní forma nemusí ve hře vůbec vzniknout. Je to pravděpodobně kvůli větší nutnosti komunikace, je časově náročnější a je potřeba koordinovat akce více hráčů. Ideálně vést i vyjednávání, kde

po vzájemném předkládání návrhů obou stran dojde k nějakému konsensu. Hlavní důraz práce tedy bude kladen na analýzu stavu hry a pasivní formu kooperativního chování.

Kapitola 4

Návrh modelu hry

Mějme hru v normální formě $G = (Q; S_1, S_2, \dots, S_N; U_1, U_2, \dots, U_N)$ představující herní den. Množina hráčů obsahuje průměrně kolem 30-40 hráčů (maximum je 180) a každý hráč, bez redukce může dosahovat až $4e + 256$ strategií viz rozbor v kapitole 3.1.8. Kvůli vysoké dimensionalitě hry ať už počtem hráčů tak počtem strategií jednotlivých hráčů nelze vyšetřit všechny strategické profily ve hře. Z tohoto důvodu jsem navrhl vícevrstvý model, kde v každé vrstvě budeme ke hře přistupovat s jinou mírou abstrakce. Od nejnižší vrstvy, kde hráči vidí hru pouze jako duel dvou hráčů, přes několik pohledů na lokální situaci, tedy blízké okolí hráče až po globální úroveň, na které se řeší vytváření větších koalic hráčů za účelem splnění podmínek k ukončení hry.

Idea přechodu z nižší vrstvy do vyšší je eliminace co největšího množství strategií, aby je mohl model na vyšší úrovni vyhodnotit v širším pohledu. Opačný přístup musí využít heuristiky pro odhad výsledku nižší vrstvy a při přechodu z vyšší vrstvy do nižší pak parametrizuje uživatelské funkce, aby zohlednily výsledek vyšší vrstvy.

1. Nekooperativní přístup - duel
2. Pasivní kooperace na lokální úrovni - míry
3. Nekooperativní přístup na lokální úrovni
4. Aktivní kooperace na lokální úrovni - spojenectví, aliance
5. Aktivní kooperace na globální úrovni

S ohledem na rozsah tématu a jeho překryv s bakalářskou prací autora bude nekooperativní přístup pouze navržen v podobě modelu, ale implementace se ponechává na případné budoucí rozšíření práce.

4.1 Duel

V duelu dvou hráčů vyhodnocujeme užítky hráčů z jednotlivých strategií. Strategii můžeme definovat jako soubor všech akcí, které hráč vykoná. I zde bude nutná jistá míra abstrakce pro omezení množství kombinací, jelikož počet kombinací roste exponenciálně s počtem zemí hráče. V kapitole 3.1.3 je uvedeno přibližně 10 akcí, které je možné provést v jedné zemi. Bude-li s hráči sousedit každý 5 zeměmi, získáme 10^5 strategií, což nám dává 10^{10} strategických profilů.

Duel je 5-tice $G = (Q = \{1, 2\}; S_1, S_2; U_1, U_2)$, která představuje hru v normální formě, ve které budeme hledat korelované ekvilibrium.

Výsledkem duelu bude nejlepší strategie hráče, kterou můžeme zpět rozložit na složky po jednotlivých zemích hráče. Tímto snížíme základ pro návrh strategií hráče z předchozích 10 akcí na jednu, popřípadě dvě, pokud provedeme duel dvakrát, například jednou pouze s obrannými akcemi a podruhé s útočnými akcemi. Cílem duelu je co největší snížení počtu strategií při zachování strategické ekvivalence hry pro další použití na lokální úrovni.

4.2 Lokální úroveň

Jako lokální úroveň hry uvažujeme hráče a jeho přímé sousedy, z pohledu topologické sousednosti zemí hráčů. Počet sousedů hráče ve hře se pohybuje v rozmezí od 0 do 8, více se vyskytuje pouze výjimečně a takový případ vede na řádově větší výpočetní složitost problému. Abychom nemuseli počítat se všemi strategiemi hráčů a to i těmi, které nejsou dostupné díky pasivní kooperaci, nejdříve vyhodnotíme tento druh koalice a tím zásadně snížíme počet strategií hráče.

4.2.1 Pasivní kooperace

Pasivní kooperace je dominantním a také nejužitečnějším druhem spolupráce ve hře, nedochází při ní ke konkrétní volbě strategického profilu, ale vyřazuje ze hry velké množství strategií, které mají negativní vliv na hráče. Důsledkem je menší množství strategií hráčů, které je snadnější vyšetřit na ekvilibrium ve hře a také jeho hodnota bude vyšší pro všechny hráče.

V případě, že hráč sousedí s 8 hráči a může se rozhodnout pro libovolnou podmnožinu těchto hráčů za účelem pasivní kooperace, bude mít $2^8 = 256$ strategií, mezi kterými bude volit. Těchto 8 hráčů, pokud jejich chování omezíme pouze na 2 strategie a to přijmout, nebo nepřijmout nabídku pasivní kooperace, nám dá $256^8 \approx 1,845e + 19$ strategických profilů. Důsledkem této úvahy je nutnost hierarchického přístupu ke hře, protože už na úrovni nejbližšího okolí hráče a pouhým výčtu kombinací jednotlivých koalic se blížíme k limitu vyčíslitelnosti v přijatelném čase.

Hru výběru pasivní koalice můžeme definovat jako $2N+1$ -tice:

$$G = (Q = \{1, \dots, N\}; S_1 = 2^{Q \setminus \{1\}}, S_2 = \{ano, ne\}, \dots, S_N = \{ano, ne\}; U_1, \dots, U_N) \quad (4.1)$$

kde N je počet sousedů plus jedna. Strategiemi prvního hráče jsou všechny podmnožiny jeho sousedů a představují kooperaci s nimi. Strategiemi sousedů hráče jsou přijmout, nebo nepřijmout. Užítky pro hráče jsou počítány heuristickou funkcí ohodnocující užitek z koalice a pro jeho sousedy je využit kontext koalice, ve které se aktuálně nacházejí, do které podle volby strategie $\{ano, ne\}$ přidáme, nebo nepřidáme hráče.

Pro potřeby vyhodnocení užitku hráče v jednotlivých profilech musíme navrhnout heuristickou funkci, která nám vrátí hráčův odhad užitku z volby konkrétní koalice. Vysoký počet profilů nám napovídá, že hráč nemůže promyslet všechny kombinace, natož nad nimi vést složitou analýzu. Užítky z koalice, které je schopen hráč vyhodnotit:

- poměr vnitrozemí ku hraničním zemím s nepřáteli,
- dopad na ekonomickou situaci hráče plynoucí z nutnosti držet z zemích armádu,
- samotná potřeba vojenského konfliktu,
- očekávání zisku, popřípadě ztráty plynoucí z konfliktu.

Pro potřeby heuristické funkce využijeme poznatků o optimálním počtu zemí, útočných schopností hráčů v závislosti na zvolené herní rase a ekonomickém zázemí. Výsledný koeficient bude více-kriteriální hodnotící funkce. Koeficient určující nezbytnost zisku nových zemí: $\frac{l_o - l}{l_o}$, kde l_o je optimální počet zemí a l je aktuální počet zemí hráče. Doplníme-li vztah o odhad bilance zisku zemí z konfliktu l_{war} a zisk neutrálních zemí l_n , získáme užitečnou funkci pasivní kooperace:

$$u_i = -\frac{l_o - l - l_{war} - l_n}{l_o} \quad (4.2)$$

4.2.2 Nekooperativní přístup

Po vyhodnocení nejlepších strategií v duelech a redukci po aplikaci pasivní kooperace získáme sadu nejvýhodnějších akcí hráče v rámci každé jeho země. Hráč vybírá strategii složenou z nejlepších akcí, na které má dostupné prostředky. Abychom se opět vyhnuli nutnosti počítat strategie pro všechny hráče ve hře, použijeme z každého duelu se hráčem i optimální strategii protihráče a složíme profil s_{-i}^* . Následně pro hráče i vypočítáme optimální odpovědi na tento profil $BR(s_{-i}^*)$.

4.2.3 Aktivní kooperace

Pokud některý hráč i_2 z koalice $i_2 \in A$, v které se nachází hráč i_1 , sousedí se stejným hráčem $i_3 \notin A$, mohou se domluvit na společném strategickém profilu, který by oběma hráčům přinesl lepší užitek. Množinu takových profilů dle kapitoly 2.2.1 nazýváme vyjednávací množina. Jedná se o kooperativní hru s nepřenositelným užitekem.

4.3 Globální úroveň

Globální úroveň představuje větší celky hráčů, které chtějí dosáhnout společného cíle. Takové celky jsou aliance a koalice hráčů. Strategie na této úrovni neurčují přímo, jaké akce mají hráči provádět, ale směřuje je k dosažení určitého cíle. Mezi cíle patří zisk co nejvíce zemí pro dosažení potřebného počtu k ukončení hry, dostatečné síly ekonomiky, nebo snaha o opak u proti-koalice.

4.3.1 Aktivní kooperace

Strategiemi na této úrovni jsou:

- dosáhnout určitého počtu zemí,
- dosáhnout určité síly kouzel,
- bojovat s určitým vládcem a další.

Důsledkem těchto strategií je změna priorit.

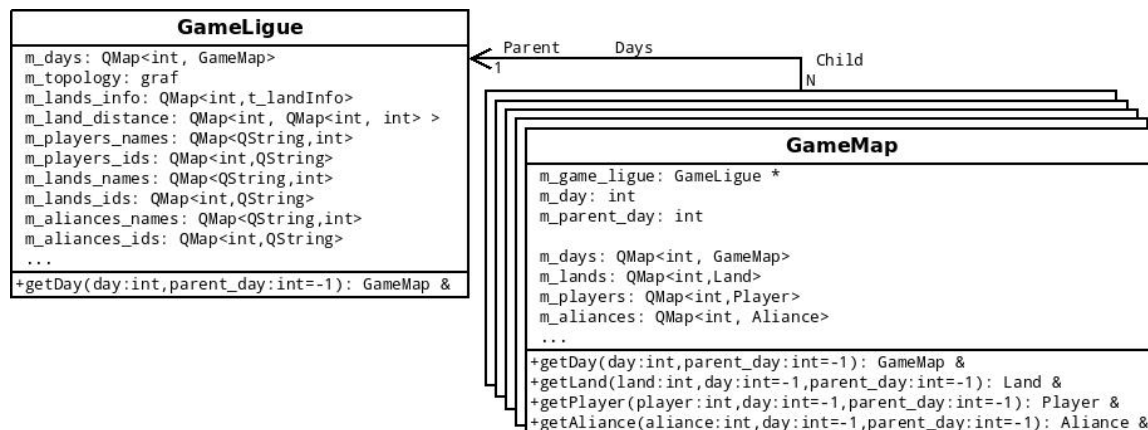
Kapitola 5

Implementace modelu hry

Tato kapitola se zabývá implementací modelu hry a všech nástrojů použitých při jeho návrhu. Hlavní částí je série tříd implementující stav hry, které jsou přes rozhraní hlavní třídy **GameLigue** propojeny s grafickým uživatelským rozhraním navrženým v knihovně QT a jazyce C++. Propojení s nástrojem na výpočet korelovaného ekvilibria probíhá přes třídu **PassiveCooperation**, která dědí chování z knihovní třídy **game** a s herním modelem je propojena přes ukazatel na třídu **GameMap** reprezentující stav herního dne. Dále jsou popsány nástroje použité při vývoji a validaci modelu a pro sběr historie hry.

5.1 Kontext hry

Pro uchování kontextu hry slouží třídy **GameMap**, **GameLigue**, **Land**, **Player** a **Aliance**.



Obrázek 5.1: Vztah tříd **GameMap** a **GameLigue**

5.1.1 GameMap

Třída **GameMap** obsahuje hlavní číselníky informací o prvcích hry (názvy, ID, vlastnosti), topologii plánu hry a seznam obsahující stav jednotlivých dnů hry. V celém návrhu je použit princip indexování pomocí ID objektu, přístup je možný pomocí veřejných metod vracejících referenci na hledaný objekt ze seznamu a v případě, že prvek seznamu se žadáním ID neexistuje, je vrácena reference na prázdný objekt stejného typu s ID roven -1. Všechny

neinicializované objekty mají nastavený odkaz na Parent roven NULL a metody vyžadující Parent objekt mají pro tento případ definované chování.

5.1.2 GameLigue

Třída `GameLigue` je s Parent propojena ukazatelem na třídu `GameMap`, jednoznačný identifikátor herního dne je složen z čísla dne `int m_day` a čísla dne `int m_parent_day`, ze kterého byl vygenerován pomocí simulace vývoje hry, jinak je nastaven na -1. Třída obsahuje metody pro výpočet identifikátoru předchozího dne pro potřeby procházení historie.

Analytické funkce

Topologická skupina analytických metod poskytuje potřebné informace pro rozhodování podle vzdálenosti zemí na herním plánu.

- `int computePlayersDistance(int pida, int pidb)`
- `int computeDistancePlayer2Land(int pid, int lid)`
- `QVector<int> getPlayersInDistanceFromPlayer(int pid, int distance)`
- `double getNeutralLandsNearPlayer(int pid)`
- `QVector<QVector<int> > getPlayerPassiveCoalitions(int pid)`

Koeficienty

- `double getPlayerSafetyKoef(int pid, int max_distance = 4)`
- `double getPlayerSafetyKoefPeaceEstimate(int pid, int max_distance = 4)`
- `int getPlayerEconomicKoef(int pid)`
- `double getStrategicLandKoef(int pida, int pidb)`

Analýza konfliktů hráčů

- `double computePlayersPeace(int pida, int pidb)`
- `bool isPlayerInWarWithPlayer(int pida, int pidb)`
- `bool isAlianceInWarWithAliance(int aida, int aidb)`
- `QPair<int, int> getLastDayOfPlayersWar(int pida, int pidb)`
- `int getLastDayOfAliancesWar(int aida, int aidb)`
- `QVector<int> getPlayersInWar(int pid)`
- `QVector<int> getPlayersInPeace(int pid)`
- `QVector<int> getPlayersInConflict(int pid)`
- `QVector<int> getPlayerAllAtacks(int pid)`
- `QVector<int> getPlayerNeutralAtacks(int pid)`

- `QVector<int> getPlayer2PlayerAtacks(int pid)`

Analýza plnění podmínek pro ukončení hry

- `double completedCult(QVector<int> players)`
- `double completedLands(QVector<int> players)`
- `double completedSK(QVector<int> players)`
- `double expectedCult(QVector<int> players)`
- `double expectedLands(QVector<int> players)`
- `double expectedSK(QVector<int> players)`

5.1.3 Land

Třída `Land` udržuje kontext jedné země herního plánu a umožňuje provádět důsledky akcí aplikovaných na ni. Je propojena s `Parent` pomocí ukazatele na třídu `GameLigue`. Každá země má jednoznačný identifikátor `lid` (Land ID).

5.1.4 Player

Třída `Player` udržuje kontext jednoho hráče ve hře a umožňuje provádět důsledky akcí aplikovaných na něj. Je propojena s `Parent` pomocí ukazatele na třídu `GameLigue`. Každý hráč má jednoznačný identifikátor `pid` (Player ID).

5.1.5 Alliance

Třída `Alliance` udržuje kontext jedné aliance ve hře a umožňuje provádět důsledky akcí aplikovaných na ni. Je propojena s `Parent` pomocí ukazatele na třídu `GameLigue`. Každá aliance má jednoznačný identifikátor `aid` (Alliance ID).

5.2 Herní plán

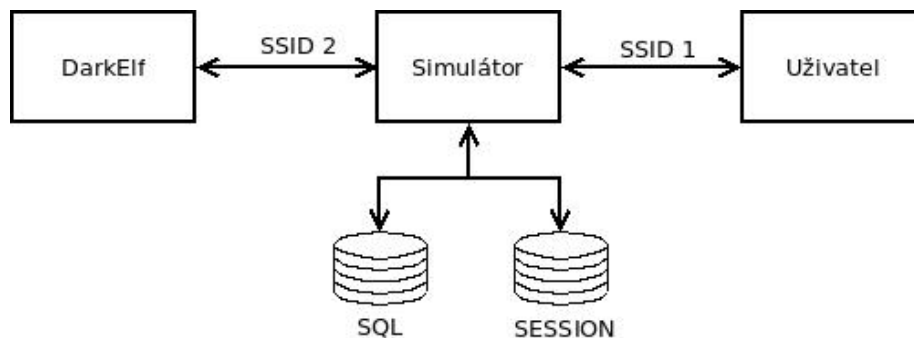
Třída `Graf` obsahuje staticky definované dvourozměrné pole o výšce `ARRMAXLAND` a šířce `ARRMAXBORDER` pro uchování všech hran mezi uzly grafu obsahující topologii herního plánu. Topologii je možné měnit pomocí metod `addEdge(int a, int b)` a `delEdge(int a, int b)` a aplikace ji načítá při startu ze souboru `default-sousednost.txt`. Pro vyhledávání cesty mezi dvěma uzly slouží metoda `t_path findPath(int a, int b)`, kde

```
struct t_path{
    int cost;
    std::vector<int> path;
};
```

a pro vyhledávání je použita neinformovaná metoda prohledávání prostoru UCS (uniform cost search). Na testovaném PC trvalo vyčíslení všech vzdáleností přibližně 2 minuty, a proto pro zvýšení rychlosti při opakovaném vyhledání je v hlavní třídě `GameLigue` použita cache pro již vypočítané vzdálenosti `QMap<int, QMap<int, int> > m_land_distance`.

5.3 Nástroj pro ladění a ověřování modelu hry DarkElf

Pro ověřování validity modelu prostředí byl sestrojen nástroj zprostředkovávající vlastní rozhraní s modelovaným systémem. Tato mezi vrstva zachytává požadavky uživatele, vyhodnocuje je a přeposílá na server hry a následně přijímá odpověď tu zpracuje a doplní o vypočítané údaje. Základní rozhraní je rozšířené o simulační nástroj, ve kterém uživatel



Obrázek 5.2: Diagram komunikace mezi herním serverem, online simulátorem a klientem

může z počátečního stavu hráče načteného ze serveru hry simulovat efekt pod-akcí hráče a jejich vliv na ekonomickou situaci hráče. Tyto vypočtené údaje byly potom porovnány se skutečnými. Serverová část nástroje byla kvůli rychlosti vývoje implementována v jazyce



Obrázek 5.3: Rozhraní online simulátoru

PHP a klientská část v jazyce JavaScript a jako budoucí rozšíření hlavní aplikace bude převedena do jazyka C++ jako část modulu pro přímou interakci s modelem.

5.4 Záznam a prohlížeč historie hry

Za účelem návrhu a validace modelu byl vytvořen systém pro zaznamenávání historie hry. Tento systém byl umístěn na webový server s dostupností nad 99%, aby bylo možné automaticky a bez výpadků dlouhodobě sledovat historii hry. Spuštění proběhlo dne 27.01.2012

a od té doby pravidelně dochází k ukládání stavu hry a mezitím bylo uloženo přibližně 1000 her. Archivy celkem zabírají přibližně 400MB.

Na serveru hry DarkElf jsou ligy rozděleny do úrovní podle obtížnosti a systém ukládá všechny první, druhé, třetí ligy a v období turnaje byly zaznamenávány i tyto speciální ligy. S ohledem na různé kategorie lig je možné pozorovat odlišné chování hráčů. Implementace je v jazyce PHP a automatické spouštění je zajištěno pomocí CRON scriptu. Nástroj ukládá prosté html s informacemi o stavu hry a pro úsporu místa automaticky provádí komprimaci.

Původní záznam ukládá stav herního plánu a dvě strany statistik ze hry. Při návrhu modelu byl zjištěn velký nedostatek některých herních údajů, nejdůležitější je vliv počasí, jehož absence znemožňuje přesnou simulaci ekonomického stavu hráčů. Proto při simulacích byla použita střední hodnota rozsahu. Tento nedostatek bude pro budoucí použití programu potřeba odstranit.

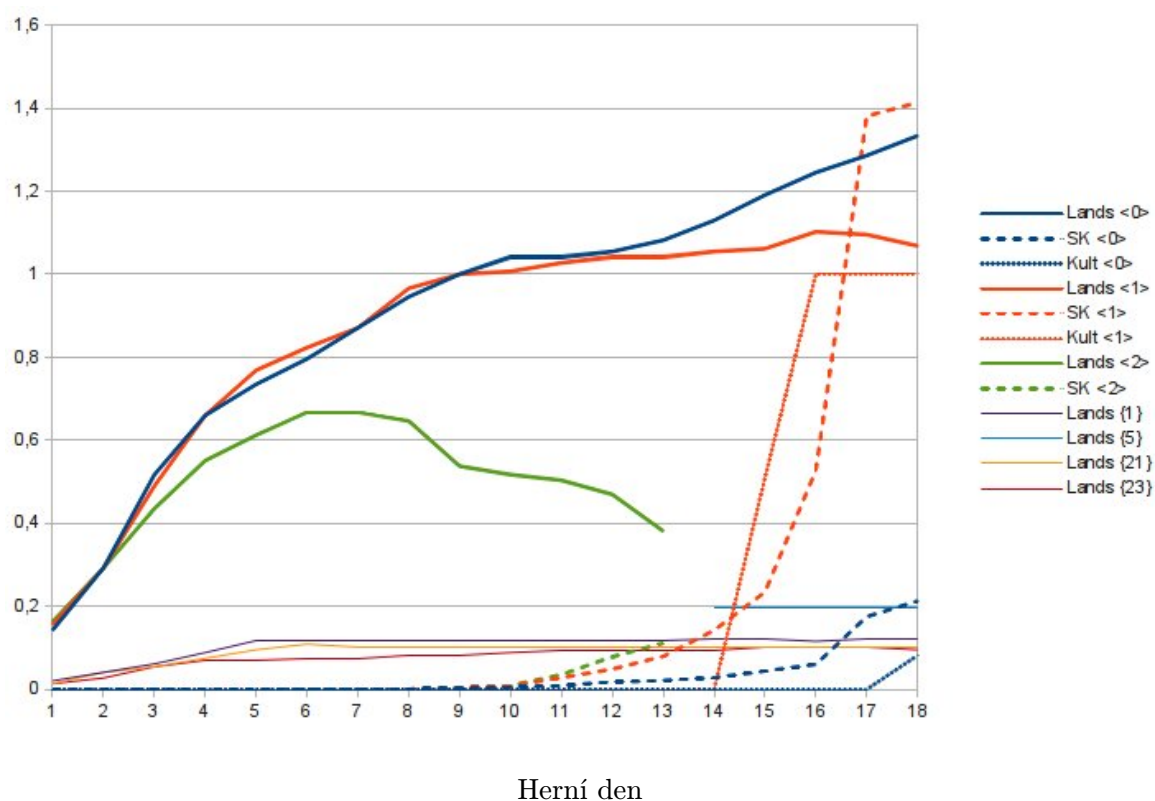
Kapitola 6

Experimenty s modelem

Tato kapitola se zabývá experimentováním s modelem s účelem srovnání analyzovaného kooperativního chování mezi hráči s výstupem modelu. Z informací o síle zemí ve hře, jejich příslušnosti k hráči ve hře a statistik o celkové síle hráčů vypočítáme ekonomickou sílu hráčů, možné cíle a poměr v jakém dochází k jejich plnění. Výsledkem je detailní analýza schopností hráčů, která slouží jako podklad pro návrh koalic hráčů ve hře.

6.1 Výsledek experimentu

Pro účely experimentu byl použit záznam historie ligy 2A z data 15. 2. 2012, který je dostupný v archivu na doprovodném CD k diplomové práci.



Obrázek 6.1: Graf dosažení ukončujících podmínek

Na obrázku 6.1 je znázorněn průběh plnění ukončujících podmínek pro jednotlivé koalice ve hře. Zobrazeny jsou parametry Lands(počet zemí koalice / požadovaný počet zemí), SK(síla kouzel / magická obrana ZeměDarkelfa) a splnění podmínky vlastnictví 7 staveb VMV. Vítězem hry se stala aliance $< 1 >$, která dosáhla nejrychleji všech tří podmínek pro ukončení hry a žádná proti-koalice hráčů nebyla schopna překazit závěrečný útok na Zemi DarkElfa. O výhru soupeřily ještě dvě plné aliance a několik jednotlivců, kteří mohli sloužit jako jejich podpora ke splnění ukončovacích podmínek.

Den	$< 0 >$	$< 1 >$	$< 2 >$
1	{10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14,22,24,27}
2	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14,22,24,27}
3	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14,22,24,27}
4	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14,22,24}
5	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14,22}
6	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14,22}
7	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14,22}
8	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14,22}
9	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14}
10	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14}
11	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,11,19,20,26}	{4,5,8,9,14}
12	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,19,20,26}	{4,5,9,14}
13	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,19,20,26}	{5,9,14}
14	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,19,20,26}	{}
15	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,19,20,26}	{}
16	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,19,20,26}	{}
17	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,19,20,26}	{}
18	{7,10,12,13,15,16,18,25}	{0,2,3,6,19,20,26}	{}

Tabulka 6.1: Složení aliancí

Tabulka 6.1 obsahuje složení všech tří koalic hráčů(aliancí) a jeho vývoj v průběhu věku. Z tabulky je patrný velký úbytek hráčů v alianci $< 2 >$, kterým se budeme zabývat dále v průběhu experimentu. Během hry nedocházelo k žádným změnám ve složení aliancí kromě odchodu hráčů, kteří ukončili účast ve hře.

Tabulky detailů hráčů obsahují informaci o všech sousedních hráčích. Kolonka pravděpodobnost obsahuje množinu dvojic číslo hráče:pravděpodobnost kooperace mezi hráči. Jednotlivé prvky množiny jsou odděleny středníkem. Obsahuje-li množina hráče patřící do stejné koalice, je pravděpodobnost rovna 1. Pokud hráči na sebe aktuální den zaútočili je pravděpodobnost rovna 0. Hráč 0 viz tabulka 6.2 měl obrovskou výhodu v počtu neutrálních zemí v jeho okolí. Díky rychlému zisku zemí, byl schopen odolat vysoké přesile. Patrný rozdíl můžeme vidět mezi odhadem kooperace ve hře a výpočtem optimální volby koalice. Ukazuje nám, vysoký tlak na tohoto hráče, přestože boj s ním je pro soupeře značně nevýhodný. Hráč 1 viz tabulka 6.3 nesehrál ve hře žádnou významnější roli. Hráč 2 viz tabulka 6.4 odehrál roli podpůrného člena, který zpomaloval proti-koalice v dosažení ekonomického potenciálu pro dosažení dostatečné síly kouzel. Od 5. dne již nezískával země, ale pouze budoval ekonomiku a magii.

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{8:0,5;19:1;20:1;27:0,5}	{}	12	10,18849
4	{8:0,4;10:0,4;19:1;20:1}	{10}	19	7,84259
5	{8:0;10:0,3;19:1;20:1;21:0,3}	{8;10}	26	5,9537
6	{8:0;10:0,3;19:1;20:1;21:0,5}	{8;10;21}	32	2,63148
7	{5:0,3;8:0;10:0;15:0,7;19:1;20:1;21:0,4}	{5;8;10;15;21}	34	1,95513
8	{5:0;8:0;10:0;15:0,3;19:1;20:1;21:0,4}	{5;10;15;21}	39	0,41204
9	{5:0;9:0,4;10:0;15:0;19:1;20:1;21:0,4}	{9;10;15}	39	0,20513
10	{5:0;9:0,5;10:0;15:0;19:1;20:1;21:0,4}	{5;10;15;21}	40	0,04
11	{5:0;9:1;10:0,1;12:0;15:0;19:1;20:1;21:0,5}	{5;10;15;21}	40	0,03704
12	{1:0,5;5:0;10:0;12:0,1;15:0;19:1;20:1;21:0,5}	{1;10;12;15}	41	0,04
13	{1:0,4;5:0;10:0;12:0;15:0,2;19:1;20:1;21:0,5}	{5;10}	38	0,04348
14	{1:0;5:0,2;10:0;12:0;19:1;20:1;21:0,4}	{5;12}	38	0,05
15	{1:0,1;5:0,3;10:0;12:0;19:1;20:1;21:0,4}	{1;5;10;12;21}	37	0,05
16	{1:0,1;5:0,5;10:0;12:0;15:0,3;19:1;20:1;21:0,5}	{1;5;10;12;21}	38	0,05
17	{1:0;5:0,5;10:0;12:0;19:1;20:1;21:0,5}	{1;5;10;12;21}	37	0,05
18	{1:0,1;5:0,4;10:0;12:0;19:1;21:0,5}	{1;5;10;12;21}	35	0

Tabulka 6.2: Detail hráče 0

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{6:0,5;21:0,5}	{6}	9	4,11905
4	{6:1;15:0,3;21:1}	{6;15}	13	2,28704
5	{6:1;15:0,5;21:0,8}	{6;15}	17	0,03704
6	{6:1;15:0,7;21:1}	{6;15}	17	0,03704
7	{6:1;15:0,7;21:1}	{6;15}	17	0,03846
8	{6:1;15:0,7;21:1}	{6;15}	17	0,03704
9	{6:1;15:1;21:0,7}	{6;15}	17	0,03846
10	{6:1;15:0,7;21:0,9}	{6;21}	17	0,04
11	{6:1;15:0,6;21:0,7}	{6;15;21}	17	0,03704
12	{0:0,5;6:1;15:0,8;21:0,7}	{6;15;21}	17	0,04
13	{0:0,4;6:1;15:0,7;21:0,7}	{6;15;21}	17	0,04348
14	{0:0;6:1;15:0,6;21:0,7}	{6;21}	18	0,05
15	{0:0,1;6:1;15:0,5;21:0,6}	{6;15}	18	0,05
16	{0:0;6:1;15:0,5;21:0,7}	{6;15}	17	0,05
17	{0:0;6:1;15:0,6;21:0,6}	{6;21}	18	0,05
18	{0:0,1;6:0,7;15:0,4;21:0,4}	{6;21}	18	0

Tabulka 6.3: Detail hráče 1

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{3:1;19:1;20:1;24:0,5;26:1}	{}	11	0,81349
4	{3:1;19:1;20:1;24:0,4;26:1}	{}	12	0,2037
5	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,16204
6	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,03704
7	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,03846
8	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,03704
9	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,03846
10	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,04
11	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,03704
12	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,04
13	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,04348
14	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,05
15	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,05
16	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,05
17	{3:1;19:1;20:1;26:1}	{}	14	0,05
18	{3:1;19:1;26:1}	{}	14	0

Tabulka 6.4: Detail hráče 2

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{2:1;6:1}	{}	8	3,06349
4	{2:1;6:1;20:1}	{}	13	1,2037
5	{2:1;6:1;20:1}	{}	15	0,41204
6	{2:1;6:1;17:0,7;20:1;26:1}	{}	16	0,03704
7	{2:1;6:1;20:1;26:1}	{}	16	0,85513
8	{2:1;6:1;20:1;23:0,3;26:1}	{}	18	0,2037
9	{2:1;6:1;20:1;23:0,3;26:1}	{}	19	0,03846
10	{2:1;6:1;20:1;23:0,3;26:1}	{}	19	0,04
11	{2:1;6:1;16:0,3;20:1;23:0,5;26:1}	{23}	20	0,03704
12	{2:1;6:1;16:0,20:1;23:0,4;26:1}	{23}	21	0,04
13	{2:1;6:1;16:0,1;20:1;23:0,4;26:1}	{23}	21	0,04348
14	{2:1;6:1;16:0,3;20:1;23:0,5;26:1}	{23}	21	0,05
15	{2:1;6:1;16:0,3;20:1;23:0,4;26:1}	{23}	21	0,05
16	{2:1;6:1;16:0,4;20:1;23:0,4;26:1}	{23}	21	0,05
17	{2:1;6:1;16:0,3;20:1;23:0,5;26:1}	{23}	21	0,05
18	{2:1;6:1;16:0,4;23:0,4;26:1}	{16}	21	0

Tabulka 6.5: Detail hráče 3

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{13:0,5}	{}	9	3,78571
4	{13:0}	{}	12	2,9537
5	{9:1;12:0,4;13:0,1}	{12}	15	1,37037
6	{9:1;12:0,3;13:0;14:1;22:1}	{12}	15	0,2037
7	{9:1;12:0;13:0,1;14:1;22:1}	{12}	14	0,03846
8	{9:1;12:0;13:0;14:1;22:1}	{12}	14	0,03704
9	{9:1;12:0;13:0;14:1}	{12}	14	0,70513
10	{9:1;12:0;13:0,1;14:1}	{12}	14	0,65111
11	{9:1;12:0;13:0;14:1}	{12}	15	0,4537
12	{9:1;12:0;13:0;14:1}	{12}	14	0,45667

Tabulka 6.6: Detail hráče 4

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{17:0,5;21:0,5;23:0,5;27:1}	{17;21}	10	2,61905
4	{9:1;17:0;21:0,6;23:0,4}	{17;21}	15	2,14815
5	{9:1;14:1;17:0;21:0,5;23:0,5}	{21;23}	17	1,62037
6	{9:1;14:1;17:0;21:0,4;23:0,5}	{}	19	1,1037
7	{0:0,3;9:1;14:1;21:0,4;23:0,6}	{0;21}	23	1,78846
8	{0:0;9:1;14:1;21:1;23:0,6}	{}	26	0,41204
9	{0:0;9:1;14:1;21:1;23:0,8}	{}	28	0,20513
10	{0:0;9:1;14:1;19:0,6;21:1;23:0,8}	{0;19;21}	28	0,04
11	{0:0;9:1;14:1;21:0,9;23:0,7}	{0;21}	27	0,03704
12	{0:0;9:1;14:1;19:0,1;21:0,8;23:0,8}	{0;19;21;23}	28	0,04
13	{0:0;9:1;14:1;21:0,6;23:0,8}	{0;21;23}	29	0,04348
14	{0:0,2;21:0,7;23:0,8}	{0;21;23}	29	2,88333
15	{0:0,3;21:0,7;23:0,8}	{0;21;23}	29	1,55
16	{0:0,5;18:0,4;21:0,7;23:0,8}	{0;18;21}	29	0,88333
17	{0:0,5;18:0,6;19:0,3;21:0,7;23:0,8}	{0;18;19;21;23}	29	0,05
18	{0:0,4;18:0,7;21:0,7;23:0,9}	{0;18;21;23}	29	0

Tabulka 6.7: Detail hráče 5

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{1:0,5;3:1}	{}	12	4,82738
4	{1:1;3:1;11:1;20:1}	{}	17	2,98843
5	{1:1;3:1;7:0;11:1;20:1}	{1}	18	2,03704
6	{1:1;3:1;7:0;18:0,7;20:1}	{7}	17	0,89815
7	{1:1;3:1;7:0;11:1;18:0,7;20:1}	{1;7}	18	0,28846
8	{1:1;3:1;7:0;11:1;18:0,7;20:1}	{1;7}	17	0,03704
9	{1:1;3:1;7:0;11:1;18:0;20:1}	{1;7}	18	0,03846
10	{1:1;3:1;7:0;11:1;20:1}	{1}	17	0,04
11	{1:1;3:1;7:0;11:1;20:1}	{1}	17	0,03704
12	{1:1;3:1;7:0;20:1}	{7}	16	0,04
13	{1:1;3:1;7:0;10:0,5;20:1}	{1;7}	17	0,04348
14	{1:1;3:1;7:0;20:1}	{7}	16	0,05
15	{1:1;3:1;7:0;10:0,5;20:1}	{1;7}	17	0,05
16	{1:1;3:1;7:0;20:1}	{7}	16	0,05
17	{1:1;3:1;7:0;10:0,3;20:1}	{1;7}	17	0,05
18	{1:0,7;3:1;7:0}	{7}	16	0

Tabulka 6.8: Detail hráče 6

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{11:0,5;16:1}	{}	12	5,73016
4	{11:0,4;16:1;18:1}	{}	17	3,54398
5	{6:0;11:0;16:1;18:1}	{6}	19	3,28704
6	{6:0;10:1;11:0,2;12:1;16:1;18:1}	{6}	20	2,24537
7	{6:0;10:1;11:0,3;12:1;16:1;18:1}	{6}	20	1,78846
8	{6:0;10:1;11:0,2;12:1;16:1;18:1}	{6}	23	0,28704
9	{6:0;10:1;11:0,2;12:1;16:1;18:1}	{6}	24	0,03846
10	{6:0;10:1;11:0;12:1;16:1;18:1}	{6}	26	0,04
11	{6:0;10:1;11:0,1;12:1;16:1;18:1}	{11}	26	0,03704
12	{6:0;10:1;12:1;16:1;18:1}	{}	27	0,04
13	{6:0;10:1;12:1;16:1;18:1}	{}	26	0,04348
14	{6:0;10:1;12:1;16:1;18:1}	{6}	27	0,05
15	{6:0;10:1;12:1;16:1;18:1}	{}	26	0,05
16	{6:0;10:1;12:1;16:1;18:1}	{6}	27	0,05
17	{6:0;10:1;12:1;16:1;18:1}	{}	26	0,05
18	{6:0;10:1;12:1;16:1;18:1}	{6}	27	0

Tabulka 6.9: Detail hráče 7

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{0:0,5;19:0,5;22:1;24:1;26:0,5;27:1}	{}	9	2,34127
4	{0:0,4;9:1;19:0,4;22:1;24:1;26:0,4}	{0;19}	11	2,59259
5	{0:0;9:1;19:0,4;22:1;26:0,4}	{19}	11	1,37037
6	{0:0;9:1;19:0;22:1;26:0,5}	{0;19}	11	0,52037
7	{0:0;9:1;19:0;22:1;26:0,4}	{0}	11	0,45513
8	{9:1;19:0}	{19}	8	0,41204
9	{9:1;19:0}	{19}	4	1,37179
10	{9:1;19:0}	{19}	3	1,06778
11	{9:1;19:0}	{19}	2	0,2037

Tabulka 6.10: Detail hráče 8

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{27:1}	{}	8	5,59127
4	{5:1;8:1;14:1}	{}	12	3,98148
5	{4:1;5:1;8:1;14:1}	{}	17	2,28704
6	{4:1;5:1;8:1;14:1}	{}	20	1,02037
7	{4:1;5:1;8:1;14:1}	{}	20	0,95513
8	{4:1;5:1;8:1;14:1}	{}	20	0,41204
9	{0:0,4;4:1;5:1;8:1;14:1;19:0,3}	{19}	20	0,20513
10	{0:0,5;4:1;5:1;8:1;14:1;19:0,4}	{19}	20	0,04
11	{0:1;4:1;5:1;8:1;14:1;19:0,3}	{0}	20	0,03704
12	{4:1;5:1;12:0,4;14:1;19:0,4}	{12;19}	20	0,04
13	{5:1;12:1;14:1;19:0,6}	{12;19}	20	0,71014

Tabulka 6.11: Detail hráče 9

Na obrázku 6.1 můžeme vidět, že aliance $< 2 >$ byla schopná o den dříve jak konkurence začít finální etapu dosažení potřebné síly kouzel, nicméně nedokázala po řadě selhání udržet potřebný počet zemí, což nakonec vedlo k opuštění hry. Tento náskok umožnil hráč 9.

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{11:0,5;12:1}	{}	10	1,86905
4	{0:0,4;11:0,3;12:1}	{0}	11	1,4537
5	{0:0,3;11:0;12:1}	{0}	12	0,9537
6	{0:0,3;7:1;11:0;12:1}	{0;11}	13	0,41204
7	{0:0;7:1;11:0;12:1}	{0;11}	14	0,03846
8	{0:0;7:1;11:0;12:1}	{0}	16	0,03704
9	{0:0;7:1;11:0;12:1}	{0}	17	0,03846
10	{0:0;7:1;11:0;12:1}	{0}	19	0,04
11	{0:0,1;7:1;11:0,1;12:1}	{}	19	0,03704
12	{0:0;7:1;12:1}	{}	19	0,04
13	{0:0;6:0,5;7:1;12:1}	{6}	20	0,04348
14	{0:0;7:1;12:1}	{}	19	0,05
15	{0:0;6:0,5;7:1;12:1}	{6}	20	0,05
16	{0:0;7:1;12:1}	{}	20	0,05
17	{0:0;6:0,3;7:1;12:1}	{6}	20	0,05
18	{0:0;7:1;12:1}	{}	22	0

Tabulka 6.12: Detail hráče 10

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{7:0,5;10:0,5;12:0,5}	{7;10;12}	7	3,31349
4	{6:1;7:0,4;10:0,3;12:0,3}	{10}	8	1,12731
5	{6:1;7:0;10:0;12:0,4}	{10}	7	0,37037
6	{7:0,2;10:0;12:0,3}	{10;12}	6	0,16204
7	{6:1;7:0,3;10:0}	{7;10}	5	0,03846
8	{6:1;7:0,2;10:0}	{7;10}	4	0,03704
9	{6:1;7:0,2;10:0}	{10}	3	0,03846
10	{6:1;7:0;10:0}	{10}	1	0,04
11	{6:1;7:0,1;10:0,1}	{}	1	0,03704

Tabulka 6.13: Detail hráče 11

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{10:1;11:0,5;13:1;25:1}	{}	9	0,61905
4	{10:1;11:0,3;13:1;25:1}	{}	12	0,37037
5	{4:0,4;10:1;11:0,4;13:1;25:1}	{4}	13	0,4537
6	{4:0,3;7:1;10:1;11:0,3;13:1;25:1}	{4}	14	0,41204
7	{4:0;7:1;10:1;13:1;25:1}	{}	15	0,28846
8	{4:0;7:1;10:1;13:1;25:1}	{}	15	0,03704
9	{4:0;7:1;10:1;13:1;25:1}	{}	16	0,03846
10	{4:0;7:1;10:1;13:1;25:1}	{}	17	0,04
11	{0:0;4:0;7:1;10:1;13:1;25:1}	{0}	19	0,03704
12	{0:0,1;4:0;7:1;9:0,4;10:1;13:1;25:1}	{0;9}	21	0,04
13	{0:0;7:1;9:1;10:1;13:1;25:1}	{}	24	1,62681
14	{0:0;7:1;10:1;13:1;25:1}	{}	25	2,02222
15	{0:0;7:1;10:1;13:1;19:0,3;25:1}	{19}	27	1,71667
16	{0:0;7:1;10:1;13:1;18:1;19:0;25:1}	{19}	27	0,46667
17	{0:0;7:1;10:1;13:1;18:1;19:0;25:1}	{19}	28	0,55
18	{0:0;7:1;10:1;13:1;19:0;25:1}	{19}	28	0

Tabulka 6.14: Detail hráče 12

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{4:0,5;12:1;25:1}	{4}	10	1,95238
4	{4:0;12:1;14:0,4;15:1;18:1;25:1}	{4}	10	0,37037
5	{4:0,1;12:1;14:0,3;15:1;18:1;25:1}	{4}	10	0,2037
6	{4:0;12:1;14:0,3;15:1;18:1;25:1}	{4}	11	0,2037
7	{4:0,1;12:1;14:0,4;15:1;18:1;25:1}	{4}	11	0,03846
8	{4:0;12:1;14:0,3;15:1;18:1;25:1}	{14}	12	0,03704
9	{4:0;12:1;14:0;15:1;18:1;25:1}	{14}	12	0,03846
10	{4:0,1;12:1;14:0,1;15:1;18:1;25:1}	{14}	12	0,04
11	{4:0;12:1;14:0,2;15:1;18:1;25:1}	{4}	11	0,03704
12	{4:0;12:1;14:0,2;15:1;18:1;25:1}	{4}	10	0,04
13	{12:1;14:0,3;15:1;18:1;25:1}	{14}	11	1,96014
14	{12:1;15:1;18:1;25:1}	{}	13	2,27222
15	{12:1;15:1;18:1;25:1}	{}	16	0,71667
16	{12:1;15:1;18:1;25:1}	{}	18	0,05
17	{12:1;15:1;18:1;25:1}	{}	18	0,05
18	{12:1;15:1;18:1;19:0,7;25:1}	{}	18	0

Tabulka 6.15: Detail hráče 13

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{18:0,5;23:0,5}	{18}	10	1,53571
4	{9:1;13:0,4;18:0,4;23:0,6}	{13}	13	0,62037
5	{5:1;9:1;13:0,3;18:0,3;23:0,9}	{13;18}	14	0,37037
6	{4:1;5:1;9:1;13:0,3;18:0;23:0,8}	{23}	16	0,2037
7	{4:1;5:1;9:1;13:0,4;18:0;23:1}	{18}	15	0,03846
8	{4:1;5:1;9:1;13:0,3;18:0;23:1}	{13;18}	15	0,03704
9	{4:1;5:1;9:1;13:0;18:0;23:0,6}	{}	13	0,03846
10	{4:1;5:1;9:1;13:0,1;18:0;23:0,8}	{13;18}	11	0,04
11	{4:1;5:1;9:1;13:0,2;18:0;23:0,6}	{}	10	0,03704
12	{4:1;5:1;9:1;13:0,2;18:0;23:0,6}	{18;23}	7	0,04
13	{5:1;9:1;13:0,3;18:0;23:0,6}	{18;23}	7	0,54348

Tabulka 6.16: Detail hráče 14

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{25:1}	{}	10	3,78571
4	{1:0,3;13:1;18:1;25:1}	{}	14	2,03704
5	{1:0,5;13:1;18:1;21:0,5;25:1}	{1}	15	1,03704
6	{1:0,7;13:1;18:1;21:0;25:1}	{1}	16	0,28704
7	{0:0,7;1:0,7;13:1;18:1;21:0;25:1}	{0;21}	17	0,03846
8	{0:0,3;1:0,7;13:1;18:1;21:0,1;25:1}	{0;21}	17	0,03704
9	{0:0;1:1;13:1;18:1;21:0;25:1}	{0;21}	18	0,03846
10	{0:0;1:0,7;13:1;18:1;21:0;25:1}	{1;21}	17	0,04
11	{0:0;1:0,6;13:1;18:1;21:0,1;25:1}	{1;21}	16	0,03704
12	{0:0;1:0,8;13:1;18:1;25:1}	{1}	15	0,04
13	{0:0,2;1:0,7;13:1;18:1;25:1}	{1}	15	0,04348
14	{1:0,6;13:1;18:1;25:1}	{}	15	0,05
15	{1:0,5;13:1;18:1;25:1}	{}	15	0,05
16	{0:0,3;1:0,5;13:1;18:1;25:1}	{}	15	0,05
17	{1:0,6;13:1;18:1;25:1}	{}	15	0,05
18	{1:0,4;13:1;18:1;25:1}	{}	15	0

Tabulka 6.17: Detail hráče 15

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{7:1}	{}	9	5,78571
4	{7:1;17:0,7;22:0,4}	{22}	13	3,9537
5	{7:1;17:0,6;22:0}	{22}	15	4,0787
6	{7:1;17:0,6;22:0}	{22}	17	3,12037
7	{7:1;22:0}	{}	20	3,68846
8	{7:1;22:0;23:0,4;26:0,5}	{22;26}	24	0,7037
9	{7:1;23:0,3;26:0,3}	{26}	28	1,45513
10	{7:1;23:0,3;26:0,4}	{26}	28	1,06778
11	{3:0,3;7:1;23:0,26:0,3}	{23;26}	27	0,16204
12	{3:0;7:1;23:0,1;26:0}	{3;23}	25	0,20667
13	{3:0,1;7:1;19:0,3;23:0,2;26:0}	{3;19;23;26}	25	0,21014
14	{3:0,3;7:1;19:0,3;23:0,3;26:0}	{19}	25	0,05
15	{3:0,3;7:1;19:0,4;23:0,3;26:0}	{}	26	0,05
16	{3:0,4;7:1;19:0,23:0,3;26:0}	{}	26	0,05
17	{3:0,3;7:1;19:0,23:0,4;26:0}	{}	28	0,05
18	{3:0,4;7:1;19:0,23:0,3;26:0}	{23}	30	0

Tabulka 6.18: Detail hráče 16

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{5:0,5;23:0,5}	{}	7	4,11905
4	{5:0;16:0,7;23:0,4}	{5;16}	9	2,78704
5	{5:0;16:0,6;23:0,3;26:0,3}	{5;16}	9	1,53704
6	{3:0,7;5:0;16:0,6;22:0,4;23:0,26:0,4}	{5;26}	8	1,7037

Tabulka 6.19: Detail hráče 17

Hráč 20 viz tabulka 6.22 byl rozhodujícím prvkem ve hře, díky dřívějšímu začátku budování síly kouzel předešel alianci $< 0 >$ o celé 2-3 dny. Zatímco opozice vytrvale dobýjela země, ale podcenila hru ekonomicky.

Hráč 27 viz tabulka 6.29, byl hlavní příčinou rostoucí ztráty aliance $< 2 >$, protože svým nevynuceným opuštěním hry přesunul celý tlak aliance $< 1 >$ na hráče 8, který podle tabulky 6.29 bojoval proti přesile 3:1.

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{14:0,5}	{}	8	3,06349
4	{7:1;13:1;14:0,4;15:1}	{}	11	2,09954
5	{7:1;13:1;14:0,3;15:1}	{}	13	0,78704
6	{6:0,7;7:1;13:1;14:0;15:1}	{6}	15	1,4537
7	{6:0,7;7:1;13:1;14:0;15:1}	{6}	20	0,28846
8	{6:0,7;7:1;13:1;14:0;15:1;23:0,4}	{6}	21	0,28704
9	{6:0,7;7:1;13:1;14:0;15:1}	{6}	21	0,03846
10	{7:1;13:1;14:0;15:1;23:0,4}	{14}	23	0,04
11	{7:1;13:1;14:0;15:1;23:1}	{14}	24	0,03704
12	{7:1;13:1;14:0;15:1;23:1}	{23}	27	0,04
13	{7:1;13:1;14:0;15:1;23:1}	{23}	27	0,04348
14	{7:1;13:1;15:1;23:1}	{}	31	3,07778
15	{7:1;13:1;15:1;23:0,5}	{}	34	2,71667
16	{5:0,4;7:1;12:1;13:1;15:1;19:0,3;23:0,6}	{5;19}	39	1,13333
17	{5:0,6;7:1;12:1;13:1;15:1;19:0,4;23:0,5}	{19}	43	0,05
18	{5:0,7;7:1;12:1;13:1;15:1;19:0;23:0}	{19}	45	0

Tabulka 6.20: Detail hráče 18

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{0:1;2:1;8:0,5;20:1;24:0,5}	{8}	7	0,20238
4	{0:1;2:1;8:0,4;20:1;24:0;26:1}	{8}	9	0,03704
5	{0:1;2:1;8:0,4;20:1;26:1}	{}	10	0,03704
6	{0:1;2:1;8:0;20:1;26:1}	{}	9	0,03704
7	{0:1;2:1;8:0;20:1;26:1}	{}	10	0,03846
8	{0:1;2:1;8:0;20:1;26:1}	{}	12	0,03704
9	{0:1;2:1;8:0;9:0,3;20:1;26:1}	{9}	14	0,03846
10	{0:1;2:1;5:0,6;8:0;9:0,4;20:1;26:1}	{5;9}	15	0,04
11	{0:1;2:1;8:0;9:0,4;20:1;26:1}	{8}	17	0,16204
12	{0:1;2:1;5:0,1;9:0,4;20:1;26:1}	{5;9}	18	0,20667
13	{0:1;2:1;9:0,6;16:0,3;20:1;26:1}	{16}	20	1,37681
14	{0:1;2:1;16:0,3;20:1;26:1}	{16}	22	2,66111
15	{0:1;2:1;12:0,3;16:0,4;20:1;26:1}	{12;16}	24	2,38333
16	{0:1;2:1;12:0;16:0;18:0,3;20:1;26:1}	{12;18}	30	0,88333
17	{0:1;2:1;5:0,3;12:0;16:0;18:0,4;20:1;26:1}	{5;12;16;18}	31	0,05
18	{0:1;2:1;5:0,3;12:0;13:0,7;16:0;18:0;20:1;26:1}	{12;13;16;18}	31	0

Tabulka 6.21: Detail hráče 19

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{0:1;2:1;19:1}	{}	6	2,36905
4	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	9	1,39815
5	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	12	1,37037
6	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	15	1,64815
7	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	18	1,28846
8	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	22	0,03704
9	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	22	0,03846
10	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	22	0,04
11	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	22	0,03704
12	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	22	0,04
13	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	22	0,04348
14	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	22	0,05
15	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	22	0,05
16	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	22	0,05
17	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	22	0,05
18	{0:1;2:1;3:1;6:1;19:1}	{}	23	0

Tabulka 6.22: Detail hráče 20

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{1:0,5;5:0,5}	{5}	8	2,89683
4	{1:1;5:0,6;23:0,4}	{1}	11	3,64815
5	{0:0,3;1:0,8;5:0,4;15:0,5;23:0,4}	{5}	14	1,78704
6	{0:0,5;1:1;5:0,4;15:0;23:0,4}	{23}	16	0,6037
7	{0:0,4;1:1;5:0,4;15:0;23:1}	{5}	15	0,28846
8	{0:0,4;1:1;5:1;15:0,1;23:1}	{1;5}	15	0,03704
9	{0:0,4;1:0,7;5:1;15:0;23:0,4}	{23}	15	0,03846
10	{0:0,4;1:0,9;5:1;15:0;23:1}	{1;15}	15	0,04
11	{0:0,5;1:0,7;5:0,9;15:0,1;23:1}	{0;23}	15	0,03704
12	{0:0,5;1:0,7;5:0,8;23:1}	{}	15	0,04
13	{0:0,5;1:0,7;5:0,6;23:0,7}	{}	15	0,04348
14	{0:0,4;1:0,7;5:0,7;23:0,7}	{0;23}	15	0,05
15	{0:0,4;1:0,6;5:0,7;23:0,7}	{0;23}	15	0,05
16	{0:0,5;1:0,7;5:0,7;23:0,7}	{0;5}	15	0,05
17	{0:0,5;1:0,6;5:0,7;23:0,7}	{0;23}	15	0,05
18	{0:0,5;1:0,4;5:0,7;23:0,7}	{5}	15	0

Tabulka 6.23: Detail hráče 21

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{8:1;26:0,5}	{}	10	4,31349
4	{8:1;16:0,4;26:0,4}	{16}	16	2,62037
5	{8:1;16:0;26:0,4}	{16}	16	1,8287
6	{4:1;8:1;16:0;17:0,4;26:0,4}	{26}	17	1,12037
7	{4:1;8:1;16:0;26:0}	{16}	15	0,68846
8	{4:1;8:1;16:0;26:0}	{16}	12	0,4537

Tabulka 6.24: Detail hráče 22

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{5:0,5;14:0,5;17:0,5}	{14}	8	1,48016
4	{5:0,4;14:0,6;17:0,4;21:0,4}	{13}	10	0,03704
5	{5:0,5;14:0,9;17:0,3;21:0,4}	{14}	10	0,03704
6	{5:0,5;14:0,8;17:0;21:0,4}	{17}	11	0,03704
7	{5:0,6;14:1;21:1}	{}	11	0,35513
8	{3:0,3;5:0,7;14:1;16:0,4;18:0,4;21:1}	{3;5;16;18;21}	12	0,2037
9	{3:0,3;5:0,8;14:0,6;16:0,3;21:0,4}	{3;5;16;21}	12	0,03846
10	{3:0,4;5:0,8;14:0,8;16:0,3;18:0,4;21:1}	{5}	13	0,04
11	{3:0,5;5:0,7;14:0,6;16:0;18:1;21:1}	{16}	14	0,03704
12	{3:0,4;5:0,8;14:0,6;16:0,1;18:1;21:1}	{14}	14	0,04
13	{3:0,4;5:0,8;14:0,6;16:0,1;18:1;21:0,7}	{14}	14	0,04348
14	{3:0,5;5:0,8;16:0,3;18:1;21:0,7}	{}	14	0,55
15	{3:0,4;5:0,8;16:0,3;18:0,5;21:0,7}	{}	15	0,46667
16	{3:0,4;5:0,8;16:0,3;18:0,6;21:0,7}	{}	15	0,21667
17	{3:0,5;5:0,8;16:0,4;18:0,5;21:0,7}	{5}	15	0,05
18	{3:0,4;5:0,9;16:0,3;18:0;21:0,7}	{18}	14	0

Tabulka 6.25: Detail hráče 23

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{2:0,5;8:1;19:0,5;26:0,5}	{19}	3	0,03571
4	{2:0,4;8:1;19:0;26:0}	{19;26}	2	0,03704

Tabulka 6.26: Detail hráče 24

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{12:1;13:1;15:1}	{}	8	0,86905
4	{12:1;13:1;15:1}	{}	9	0,53704
5	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,03704
6	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,03704
7	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,03846
8	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,03704
9	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,03846
10	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,04
11	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,03704
12	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,04
13	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,04348
14	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,05
15	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,05
16	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,05
17	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0,05
18	{12:1;13:1;15:1}	{}	11	0

Tabulka 6.27: Detail hráče 25

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{2:1;8:0,5;22:0,5;24:0,5}	{}	9	2,73016
4	{2:1;8:0,4;19:1;22:0,4;24:0}	{8;22}	10	1,37037
5	{2:1;8:0,4;17:0,3;19:1;22:0,4}	{22}	11	0,28704
6	{2:1;3:1;8:0,5;17:0,4;19:1;22:0,4}	{8}	12	0,03704
7	{2:1;3:1;8:0,4;19:1;22:0}	{22}	13	0,68846
8	{2:1;3:1;8:0,4;16:0,5;19:1;22:0}	{22}	16	0,62037
9	{2:1;3:1;16:0,3;19:1}	{}	18	1,28846
10	{2:1;3:1;16:0,4;19:1}	{}	20	0,70667
11	{2:1;3:1;16:0,3;19:1}	{}	20	0,16204
12	{2:1;3:1;16:0;19:1}	{}	21	0,20667
13	{2:1;3:1;16:0;19:1}	{}	21	0,21014
14	{2:1;3:1;16:0;19:1}	{}	22	0,05
15	{2:1;3:1;16:0;19:1}	{}	21	0,05
16	{2:1;3:1;16:0;19:1}	{}	21	0,05
17	{2:1;3:1;16:0;19:1}	{}	19	0,05
18	{2:1;3:1;16:0;19:1}	{}	17	0

Tabulka 6.28: Detail hráče 26

Den	Pravděpodobnost kooperace	Navržená kooperace	Zemí	Neutrální
3	{0:0,5;5:1;8:1;9:1}	{}	5	2,81349

Tabulka 6.29: Detail hráče 27

6.2 Vyhodnocení experimentů

Model vykazoval odchylky mezi doporučenými koalicemi a odhadem koalic ve hře. Tyto odchylky mohly být způsobeny:

- nepřesným odhadem koalice ve hře, protože existence a složení koalic není veřejně známá informace a pro její odhad byla využita analýza konfliktu mezi hráči a stavu zemí na hranicích mezi hráči,
- možným iracionálním chováním hráče, nebo odlišným vnímáním užitku oproti modelu,
- hysterezí ve vztazích mezi hráči způsobenou prodlevou v komunikaci mezi hráči a ochrannou lhůtou při přerušení spolupráce,
- vlivem opakování ve hře a role reputace,
- vlivem aktivní kooperace na globální úrovni.

Cílem analýzy není predikce chování hráčů ve hře, ale poskytnout informovaného pohledu na strategickou situaci a navržení jejího možného optimálního řešení.

Kapitola 7

Závěr

Při tvorbě této práce jsem se seznámil s modelováním komplexních systémů, jejich analýzou, návrhem, implementací, optimalizací a validací. Při návrhu modelu jsem rozšířil své znalosti o teorii her a jejím praktickém použití. Analýza modelovaného systému vyžadovala návrh několika pomocných nástrojů a také obstarání záznamů historie hry. Etapa optimalizace výpočtů byla nejobtížnější ze všech. Bylo nutné několikrát přehodnotit způsob řešení, až jsem dospěl do výsledného vrstevného modelu. Vrstvový model systému nám navíc umožňuje různou míru abstrakce a také variabilitu, která spočívá v možnosti návrhu jednotlivých vrstev jako oddělených komponent. Během návrhu jsem čerpal z mnoha publikací s tematikou teorie her a také z ekonomických článků.

Výsledná aplikace je schopná analyzovat stav hry a dopočítat informace o stavu hry, které nejsou veřejně známé, ale jsou odvoditelné z dostupných statistik. Nad odvozeným stavem hry je následně schopná provést analýzu strategického chování hráčů. Návrh byl veden s ohledem na co největší rozšířitelnost aplikace, praktickou použitelnost a snesitelnou výpočetní náročnost s horní časovou hranicí v řádu desítek minut na běžném počítači. Součástí aplikace je komunikační vrstva, která je schopna komunikovat s webovým serverem hry a část ovládacích prvků z originálního rozhraní hry.

Náměty na rozšíření:

- Dokončení uživatelského rozhraní podporující plnou funkcionalitu modelované hry.
- Rozšířené možnosti introspekce modelu a ruční/asistované generování strategií hráče.
- Implementace a optimalizace nekooperativního modelu hry.
- Další vylepšení analyzátoru stavu hry.
- Rozšíření modelu o schopnost učení.

Literatura

- [1] Jan Mysliveček: Stručný úvod do Teorie her.
http://www.myslivecek.com/uvod_do_her.pdf, 2008 [online, cit. 7.1.2013].
- [2] Magdalena Hykšová: Teorie her & optimální rozhodování - výukový text.
http://euler.fd.cvut.cz/predmety/teorie_her/hry_t.pdf, [online, cit. 17.5.2013].
- [3] Martin Hrubý: Kooperativní hry a vyjednávání.
<http://www.fit.vutbr.cz/~hrubym/THE/6-kooperativni-hry-bargaining.pdf>, [online, cit. 7.1.2013].
- [4] Martin Hrubý: Nekooperativní hry s nenulovým součtem.
<http://www.fit.vutbr.cz/~hrubym/THE/2-normal-form-games.pdf>, [online, cit. 7.1.2013].
- [5] Martin Hrubý: Opakované hry a Korelované ekvilibrium.
<http://www.fit.vutbr.cz/~hrubym/THE/7-opakovane-hry.pdf>, [online, cit. 7.1.2013].
- [6] Straffin, P. D.: *Game theory and strategy*. Mathematical Association of America, 1993.
- [7] Straka, R.: *Modelování sekvenčních strategických her s nedokonalou informací*. 2010.
- [8] Zdeněk Pletka: DarkElf - online strategická hra. <http://www.darkelf.cz/>.

Příloha A

Obsah CD

Příložené CD obsahuje:

- Zdrojové soubory programu
- Readme
- Přílohy v adresáři `./doc/appendix/`
- Programová dokumentace
- Technická zpráva

Příloha B




Slovník pojmů

- *Herní liga*: instance jedné hry. Strana 11.
- *Herní den*: jeden krok hry. Strana 11.
- *Protekce*: období hry, kdy nelze napadat ostatní hráče. Strana 11.
- *Přepočet*: časový okamžik, ve kterém se počítá nový herní den. Strana 12
- *Země DarkElfa*: jméno země, jejíž obsazení ukončuje hru. Strana 13.
- *Posel*: umělý hráč, prvek náhody ve hře. Strana 19.




Příloha C

Tabulka herních ras



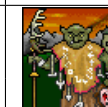
Tabulka je převzatá z nápovědy hry DarkElf[8]

Kol za den	8		Peníze při startu	4400				
Limit kouzel	120		Mana při startu	200				
Bonus rasy: stavba Tržiště umožňuje provést tři obchody za den.								
Zbrojnos	Cena	30+0	Rytíř	Cena	90+7	Mudrc	Cena	150+20
	Žold	1		Žold	5		Žold	10
	Útok	1		Útok	7		Útok	4
	Obrana	5		Obrana	3		Obrana	4




Tabulka C.1: Herní rasa: Lidé

Kol za den	7		Peníze při startu	2000				
Limit kouzel	60		Mana při startu	100				
Hodnost za úspěšný vojenský útok na nepřítele roste 2x rychleji a za neúspěšný klesá 2x pomaleji. Hodnost nemůže klesnout pod 1/2 základu ligy.								
Válečník	Cena	40+0	Berserker	Cena	100+5	Zařikávač	Cena	160+20
	Žold	2		Žold	4		Žold	11
	Útok	4		Útok	9		Útok	5
	Obrana	3		Obrana	3		Obrana	4



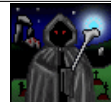
Tabulka C.2: Herní rasa: Barbaři

Kol za den	10		Peníze při startu	1500				
Limit kouzel	80		Mana při startu	100				
Plenivý útok je silnější o 20% a ostatní členové aliance mají bonus 5% za každého skřeta. Součet aliančního bonusu je max. 20%.								
Skřet	Cena	30+0	Veseskřet	Cena	200+9	Šaman	Cena	100+30
	Žold	2		Žold	8		Žold	14
	Útok	2		Útok	5		Útok	3
	Obrana	4		Obrana	3		Obrana	3




Tabulka C.3: Herní rasa: Skřeti

Kol za den	9			Peníze při startu	2000			
Limit kouzel	45			Mana při startu	75			
Bonus rasy: stavby lze prodat za poloviční cenu místo čtvrtinové.								
Skurut	Cena	50+0	Troll	Cena	130+4	Zlotr	Cena	120+30
	Žold	2		Žold	5		Žold	16
	Útok	3		Útok	7		Útok	5
	Obrana	3		Obrana	1		Obrana	3




Tabulka C.4: Herní rasa: Skuruti

Kol za den	8		Peníze při startu	3200				
Limit kouzel	200		Mana při startu	300				
10% ze zabitých nepřátelských vojáků a obyvatel se ihned po dobytí země přemění na zombie (jednotky prvního stupně). V zemi musí být volné domy.								
Zombie	Cena	10+0	Nazgûl	Cena	0+15	Přízrak	Cena	150+15
	Žold	1		Žold	3		Žold	10
	Útok	1		Útok	7		Útok	5
	Obrana	4		Obrana	2		Obrana	3



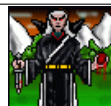
Tabulka C.5: Herní rasa: Nekromanti

Kol za den	7			Peníze při startu	2000			
Limit kouzel	240			Mana při startu	600			
Z každého kouzla, které neprojde magickou obranou mága, získá mág 20% z ceny kouzla.								
Zabiják	Cena	0+4	Démon	Cena	0+20	Mág	Cena	0+15
	Žold	1		Žold	6		Žold	7
	Útok	2		Útok	7		Útok	3
	Obrana	5		Obrana	2		Obrana	5




Tabulka C.6: Herní rasa: Mágové

Kol za den	7		Peníze při startu	3000				
Limit kouzel	160		Mana při startu	300				
Dobrá (žlutá) kouzla jsou levnější o 20% a ostatní členové aliance mají slevu 5% za každého elfa. Součet alianční slevy je max. 30%.								
Lučištník	Cena	30+0	Těžko oděnc	Cena	60+8	Léčitel	Cena	100+15
	Žold	1		Žold	5		Žold	9
	Útok	2		Útok	6		Útok	5
	Obrana	6		Obrana	4		Obrana	5



Tabulka C.7: Herní rasa: Elfové

Kol za den	6		Peníze při startu	3100				
Limit kouzel	200		Mana při startu	300				
Za každého zabitého vojáka při úspěšném vojenském útoku dostane: +1 many za obrannou, +2 many za útočnou, +3 many za magickou jednotku.								
Střelec	Cena	30+0	Šermíř	Cena	50+10	Zaklínač	Cena	60+10
	Žold	1		Žold	5		Žold	10
	Útok	3		Útok	7		Útok	4
	Obrana	5		Obrana	3		Obrana	5




Tabulka C.8: Temní Elfové

Kol za den		6				Peníze při startu		4500
Limit kouzel		80				Mana při startu		200
Veškeré doly a pevnosti jsou levnější o 20% a ostatní členové aliance mají slevu 5% za každého trpaslíka. Součet alianční slevy je max. 30%.								
Sekerník	Cena	10+0	Ničitel	Cena	40+2	Stařešina	Cena	200+2
	Žold	1		Žold	3		Žold	9
	Útok	2		Útok	5		Útok	3
	Obrana	7		Obrana	6		Obrana	7

Tabulka C.9: Herní rasa: Trpaslíci

Kol za den	11		Peníze při startu	3000				
Limit kouzel	45		Mana při startu	50				
Odvod z příjmů (zlaté, mana) za každé kolo do alianční pokladnice je 5% místo klasických 4%.								
Krajník	Cena	22+0	Šlechtic	Cena	100+10	Alchymista	Cena	100+25
	Žold	3		Žold	10		Žold	17
	Útok	2		Útok	4		Útok	1
	Obrana	2		Obrana	2		Obrana	2

Tabulka C.10: Herní rasa: Hobiti

Kol za den	5					Peníze při startu	5000	
Limit kouzel	26					Mana při startu	0	
Na Enty mají poloviční účinek kouzla Blesk, Bouře, Zemětřesení a Uragán.								
Dubodub	Cena	20+0	Listovlas	Cena	100+0	Vrbák	Cena	200+0
	Žold	0		Žold	0		Žold	0
	Útok	4		Útok	8		Útok	3
	Obrana	6		Obrana	8		Obrana	4

Tabulka C.11: Herní rasa: Enti

Příloha D

Tabulka staveb

Tabulka je převzatá z nápovědy hry DarkElf[8]

Název	Zlato	Mana	Popis
Tržiště	400	0	Umožní dvakrát obchodovat na tržišti během dne.
Dílna	600	0	Zlepší produktivitu a tím i zisk peněz v této zemi o 5 procent.
Polní modlitebna	700	100	Zvýší útočnou sílu každého útoku z této země o hodnotu 30. Útok musí být silný alespoň 100.
Posvátná studna	700	0	Přidá 5 many každé kolo.
Sýpka - obilná	1000	0	Zvýší přírůstek obyvatel za kolo o 2.
Rudný důl	1400	0	Přidá 50 zlatých každé kolo.
Kamenné cesty	1600	0	Útok je silnější o 5 procent. Lze kombinovat s pevnostmi.
Cvičiště	1600	0	Zvýší obranu země o 5 procent. Lze kombinovat s pevnostmi.
Obranné vozy	1800	0	Přidá k obraně země hodnotu 100.
Katapult	2000	0	Zvýší útočnou sílu každého útoku z této země o hodnotu 60. Útok musí být silný alespoň 200.
Dřevěné hradby	2000	0	Nejmenší pevnost. Obrana se zvýší o 10 procent. Zboří původní pevnost.
Zlatý důl	2500	0	Přidá každé kolo 100 zlatých.
Cech války	3000	0	Umožňuje cvičit jednotky druhého stupně.
Cech magie	3500	0	Umožňuje cvičit magické jednotky třetího stupně.
Aréna	3600	0	Zvýší útočnou sílu o 10 procent. Lze kombinovat s pevnostmi.
Obranná magická věž	200	200	Zvýší magickou obranu země o hodnotu 50. Nepotřebuje ke své činnosti magické jednotky. Zboří původní magickou věž.
Hospoda pro hrdinu	5000	0	Snižuje o 1/3 cenu zlatých za vojáky. Umožňuje povolát hrdinu do hry.
Chrám	6000	600	Zvýší magickou obranu země o 300%. Zboří původní magickou věž.

Malá pevnost	5000	0	Obrana se zvýší o 20 procent a útok 10 procent. Zboří původní pevnost.
Obřadní svatyně	300	300	Přidá 10 many každé kolo. Zvýší magickou obranu země o 10 procent. Zboří původní magickou věž.
Malá magická věž	700	700	Přidá 20 many každé kolo. Zvýší magickou obranu země o 20 procent a celkovou sílu kouzel o 5 procent. Zboří původní magickou věž.
Střední mag věž	2000	2000	Přidá 40 many každé kolo. Zvýší magickou obranu země o 50 procent a celkovou sílu kouzel o 10 procent. Zboří původní magickou věž.
Velká mag věž	10000	10000	Přidá 80 many každé kolo. Zvýší mag. obranu země o 100% a sílu kouzel o 20%. Vlastnictví alespoň 7 těchto věží je podmínkou pro výhru. Zboří původní magickou věž.
Střední pevnost	10000	0	Obrana se zvýší o 50 procent a útok o 25 procent. Zboří původní pevnost.
Velká pevnost	30000	0	Obrana se zvýší o 100 procent a útok o 50 procent. Zboří původní pevnost.
Stroj času	8000	8000	Zvýší počet herních kol k odehrání o jedno. Kolo přibude až po přepočtu. Postavením více budov se dále počet kol za den nezvyšuje.
Brána času	16000	16000	Zvýší počet herních kol k odehrání o dva. Kola přibudou až po přepočtu. Postavením více budov se dále počet kol za den nezvyšuje.
Mithrilový důl	3000	0	Tuto stavbu mohou postavit jen Trpaslíci. Přidá každé kolo 200 zlatých.
Chudobinec	500	0	Tuto stavbu mohou stavět a používat pouze Lidé. Polovina propuštěného vojska se díky chudobinci vrátí jako obyvatelé.
Špehnora	10000	0	Tuto stavbu mohou stavět a používat pouze Hobiti. Umožní zjistit počet obyvatel (z doby posledního přepočtu) každé země. Poplatek každé kolo je 500 zlatých.

Tabulka D.1: Přehled použitých staveb ve hře DarkElf